

التلوث في البيئة الزراعية

الدكتور
عبد الناصر عبد الحليم حجوز

مركز الكتاب الأكاديمي

التلوث في البيئة الزراعية

التلوث في البيئة الزراعية

الطبعة العربية الأولى 2014

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
2014/1/29

632.1
حجوز، عبد الناصر عبد الحليم
التلوث في البيئة الزراعية/ عبد الناصر عبدالحليم حجوز.- عمان مركز الكتاب الاكاديمي،2014
( )ص
ر.إ.:2014/1/29
الواصفات:/التلوث/ الزراعة

*يتحمل المؤلف كامل المسؤولية عن محتوى مصنفه ولا يعتبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى

ISBN978-9957-35-079-6(ردمك)



عمـان- شـارع الملك حسين - مجمع الفحـيص التجــاري
تلفاكس: 064619511 ص. ب 1061 عمان 11732 الأردن
E-mail:Abc.safi@yahoo.com/A.b.center@hotmial.com

التلوث

في البيئة الزراعية

الدكتور

عبد الناصر عبد الحليم حجوز





بسم الـلـه الرحمن الرحيم

(وقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْماً)

صدق الـلـه العظيم

إهداء

إلى ذكرى والدي العزيز وإلى والدتي الحبيبة

وإهداء خاص إلى زوجتي الغالية وأم أولادي عبد الحليم ويارا.

المحتويات

المقدمة

وضع كلمة Ecologie عالم الحياة الألماني أرنست هيكل عام 1866 وذلك من خلال دمج كلمتين يونانيتين oikos ومعناه مسكن و logos معناه علم. وعرفها بالعلم الذي يدرس علاقة الكائنات الحية بالوسط الذي تعيش فيه.

إذا البيئة... تلك الأم الرؤوم التي احتضنت وما زالت تحتضن ألوف الملايين من بني البشر؛ أعطتهم كل الرعاية وكل ما يحتاجون كي ينعموا بحياة رغيدة. سلمتهم نفسها، بهوائها ومائها وأرضها ونباتاتها، مقدمة وما تملكه من خبرات ظنا منها الوفاء فيهم... فاستثمروا الأرض واستخرجوا المعادن وأشادوا الأبنية وأقاموا الصناعات وسطروا الطرق وسيروا عليها وسائط النقل الحديثة المختلفة، ونعموا وتنعموا بذلك، ولم تبخل في عطائها ولكن تئن من استنزاف خيراتها دون حدود، وبدلا من الرحمة والعرفان بالجميل فتنكر الإنسان لها، أخذ يقذف فيها نفاياته، ويتنفس في هوائها سمومه دون حساب متناسيا لما يمكن لها أولا وله ثانيا، إلى أن حدث ما كان غير متوقع فانقرضت الحياة المائية والنباتية في بعض الأماكن الشديدة التلوث، وظهرت الأمراض البشرية التي لم تكن موجودة ومعروفة من قبل، وازدادت الإصابة بالأمراض الأخرى. إنها ضريبة البيئة على الإنسان ضريبة عدم الوفاء.

لقد أصبح تلوث الوسط المحيط في يومنا الحالي أحد قضايا الساعة، بل أنه القضية الأهم، بعد أن أصبح قضية عالمية، ليس قضية محلية أو إقليمية، وأخذت آثاره المدمرة تظهر على الأحياء كافة، وأصبحت المطالبة بالهواء النقي والماء العذب والغذاء النظيف إحدى مسائل عصرنا إن التغير الذي طرأ على الوسط المحيط وتلوثه خلال القرن العشرين هو نتيجة التزايد في درجة أضراره ونوعيتها، والذي

كان نتيجة طبيعية لزيادة كبيرة في عدد السكان، ونهمهم في استغلال الموارد الطبيعيـة في الزراعة والتعدين والصناعة.

لقـد شـهد علـم البيئـة تطـورا كبـيرا في الفـترة الأخـيرة وخاصـة في حقـول الزراعـة والمكافحة البيولوجية. ويحظى الآن باهتمام كبير لدى جميـع دول العـالم في معرفـة أسرار نظـم البيئـة والحيـاة، واسـتثمار الطبيعـة بطريقـة تـضمن للإنـسان حاجاتـه الغذائيـة والاجتماعية وتخطط للبيئة تناسقها وتكاملها.

ويتطلب من الجميع فهم وإلمام بالأنظمة البيئية حتى نتمكن مـن المحافظـة عـلى الذي يقوم بتنقية الهواء وإكساب التربة الخصوبة ويزيد وينظم جريـان الينـابيع والإنهـاء وهي الغابة ونظامها البيئي المتوازن، ولقد اعتمدت في تأليف هـذا الكتـاب عـلى مـصادر عربية وعالمية حديثة حداً إضافة إلى معلوماتي في هـذا المـضمار ومحاولـة منـي أن يكـون هذا الكتاب ذو فائدة المرجوة لطلاب والباحثين في مجل البيئة والتلوث البيئـي في الـوطن العربي والـلـه ولي التوفيق.

الدكتور/ عبد الناصر عبد الحليم حجوز

الفصل الأول

الهواء الجوي ومصادر تلوثه

الهواء الجوي ومصادر تلوثه

إن المحتويات الأساسية للغلاف الجوي الذي يحيط بـالكرة الأرضـية الأزوت والـذي يشكل بالحجم 78.08، أوكسجين 20.95 وغاز الكربون 0.30% أما القـسم المتبقـي تحتلـه غازات خاملة عضوية أو غير عضوية، وأن الجزء الدائم من الغلاف الجوي يعتبر بخار الماء وأن نسبته (4.0%).

وأن الكتلة العامة للغلاف الغازي حول الأرض تكون ($15.5 .10^{15}$ طن) وأن سـماكة الغلاف في الارتفاع 10 كم، وقد تصل 20 كم، أما الكتلة الهوائية 95.75% على التوالي.

مع العلم أن الزيادة في الارتفاع في طبقة الغلاف الجوي التي تحيط بالأرض يرافقها انخفاض في الكثافـة ومـن ثـم ترتفـع معطيـات الكثافـة عـلى ارتفـاع 20.000 كـم حيـث تتساوى الكثافة مع الكثافة بين الكواكب.

يقابل كثافة الهواء توزع الكائنات الحية، حيث أن أغلبها عند سـطح الأرض ونـادراً ما يصادف حتى على ارتفاع 8.5 كم وأكثر من ذلك.

وأن الغلاف الجوي الذي يحيط بالأرض يقوم بتنفيذ دور دفاعي الوظائف، كحماية الكائنات الحية على سطح الأرض من التأثيرات القاتلـة التـي تحـدث في الفـضاء الكـوني – التأثير الميكانيكي لنيازك وتصادم المذنبات، وكذلك يقوم بتنظيم عمليـة التـسخين والتبريـد ويقوم بدور ملحوظ في أضعاف التيارات الإشعاعية الهابطة باتجاه الأرض من أشعة غامـا، الأشـعة الرونتجنيـه (الأشـعة الـسينية)، الأشـعة فـوق البنفـسجية، الأدخنـة، الأشـعة دون الحمراء، الغبار الفضائي، بالإضافة إلى ذلك فإنه يخفض الأشعة الدافئة الهابطة عـلى الأرض من الفضاء الكوني وأن الدور الخاص والأسـاسي للغـلاف الجـوي في امتـصاص ووقـف الأشـعة القصيرة فوق البنفسجية المسربة من خلال ثقب الأوزون والتي تتوضع عـلى ارتفـاع 15– 50

كم. وليست أقل أهمية في تنظيم التيارات الهابطة إلى الأرض والإشعاع المعاكس في الفضاء الكوني فيقوم في هذا الدور محتويات الغلاف الجوي من أكسيد الكربون، أنواع مختلفة من جزيئات الغبار، الأبخرة المختلفة السائلة – قطرات الماء، الغيوم التي تغلف وبشكل دائم 3/1 من السماء.

فخلال الربع الأخير من القرن العشرين حدث تشبع شديد للغلاف الجوي بمختلف الغازات وأنواع مختلفة من الغبار الناتجة عن وسائل المواصلات المختلفة (برية – بحرية – جوية) والمؤسسات والمشاريع الصناعية مسببين إساءة شديدة لمختلف الكائنات الحية سواء كانت بشرية أم حيوانية أم نباتية، وذلك بتلوث بيئة الوسط المحيط للكائن الحي وعلى مساحات كبيرة.

وفي علاقة مع النمو الكبير للكوارث يتطلب القيام في المجالات العلمية اتخاذ خطوات عقلانية لمواجهة تلوث الوسط المحيط والمحافظة على المستوى المعقول لظروف الحياة والعمل على تأمين الراحة للإنسان والمناخ معاً.

أ. تشكل الهواء والكائنات الحية

الهواء الجوي الحالي هو نتيجة تطور طويل وهو قد تشكل من السحب الأولية للغازات حول الكرة الأرضية، يدخل في مكوناته (الميتان، النشادر، الهيدروجين وبخار الماء).

ونتيجة للعمليات المختلفة للكائنات الحية والتي تشكلت منذ ملياري سنة مضت تشكل أول كائن حي ذاتي التغذية.

وأن قوة ومقدرة الكائنات الحية ذاتية التغذية على امتصاص غاز الكربون وطرح الأوكسجين للوسط المحيط كمنتجات ثانوية هو النتيجة المبدئية لعمليات تشكل الهواء الجوي وهذه العمليات كشفت تأثيرها الكبير ليس فقط على الهواء

الجوي وإنما على غلاف القشرة الأرضية. سابقاً قد سادت على الأرض عمليات تشكل الأكاسيد تحت تأثير الأشعة الشمسية الهابطة على سطح الأرض.

تغير التركيب الكيميائي لغازات الهواء الجوي والمحتوى الطبقي للأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض قد بدأ تقريباً منذ 400 – 500 مليون سنة مضت عمل على إيجاد مستوى مناسب لوجود النبات والحيوان. ومنذ ذلك الوقت بدأ استقرار عمليات جديدة متساوية في مكونات غازات الهواء الجوي، وأن تتميز الكائنات الحية بمقدرة على التمثيل الكلورفيلي وخلال نشاطها تقوم بامتصاص غاز الكربون من الهواء الجوي، وبعد موتها تطلق وبشكل كبير ما تكدس من الكربون على اليابس والبحار والمحيطات (فحم حجري، دوبال، كربون). من هذا فإن دورة الكربون، الأوزون، الأكسجين، الكبريت وغيره من العناصر في الطبيعة تقدم خدمة للكائنات الحية.

ونتيجة عملية التمثيل الكلوروفيلي التي يقوم بها النبات على اختلاف أنواعه وأشكاله، فيتشكل سنوياً 232.5 مليار طن من المواد العضوية الجافة. وأن نسبة الكربون في الأعضاء الحية النباتية تساوي 42% وفي تركيب هذه الكمية العضوية تستهلك النباتات سنوياً من Co2 أكثر من 97 مليار طن.

فإذا استهلك CO_2 المتواجد في الهواء الجوي والذي يساوي 2343 مليار طن الكائنات الحية النباتية لها القدرة على استهلاك الكمية بشكل كامل تقريباً خلال 24 سنة. ولكن هذا لا يحدث حيث أن الكربون يتشكل وبدون توقف وذلك لتأمين الاحتياطي من CO_2 في الهواء الجوي. يقوم الهواء الجوي بامتصاص غاز CO_2 الناتج عن عمليات تخمر وتفسخ وتحلل المواد العضوية، وكذلك تنفس الأعضاء النباتية والتي في المجموع تطرح من ثاني أوكسيد الكربون 59.09% وللمقارنة فإن الأحياء الدقيقة في التربة تطرح من ثاني أوكسيد الكربون 38%

وعملية تنفس الحيوانات -1.28% والإنسان -0.32% ومن حرائق الغابات -0.38%، ومن البراكين ومن المصادر الأخرى تحت الأرض -0.09% ومن حرق المحروقات العضوية -3.08% وتحميص الكلى 0.04% وإن وضع هذه المعلومات والمتعلقة بعنصر الكربون لتبين اختلاف حجوم تشكل الكربون في الطبيعة وخاصة الأحياء الدقيقة ودورها في استقرار دورة الأوكسجين، وثاني أوكسيد الكربون، الأزون وغيره من الغازات الطبيعة. وتقوم النباتات بدور أساسي ومنظم لمحتوى وعلاقة المركبات الغازية الهوائية في الجو وبفضل النشاطات الحيوية على سطح القشرة الأرضية هناك قانون تساوي الأنواع في 50 ألف مرة أكثر من الكربون في الهواء الجوي الحالي، وفي 1000 مرة أكثر مما في هواء البحار والمحيطات.

وأن المستوى الحالي CO_2 في الهواء الجوي يعتبر واحد من أهم العوامل التي يجب التمسك بها مستقبلاً وإيقافه على المستوى الحالي، وأن النشاط الحيوي للإنسان يعطى مؤشر أكيد على التوسع الكبير لدورة الكربون نتيجة مخلفات الحرائق هنا وهناك والكوارث البيئة التي تحدث وزيادة استخدام الوقود العضوي وإلى آخره.

وأن مقدرة النبات والكائنات الحية الدقيقة على التحسس لوجود انتشار نوع من أنواع الغازات ومستوى انتشاره وتركيزه. حيث النباتات الخضراء تقوم بنشاط بتنفيذ عملية التمثيل الكلوروفيلي عند زيادة محتوى CO_2 في الهواء بالمقارنة مع تركيزه في الوسط المحيط في 10 مرة وأكثر، وعند انخفاض محتوى الأوكسجين حتى 5% لا يحدث أي خلل لعملية التنفس، يستخدم النبات الكربون والأزون الغذائي ليس فقط الأكسدة، لكن في تكوين أشكال مركبات تمتصها الأوراق (ميتان، نشادر). وأن هذه العوامل تأخذ بنا إلى مفهوم إمكانية النبات في المحافظة على وضعه والتحسس من جراء أخذ بعض الجرعات الغازية المتواجدة في الهواء الجوي.

يحتوي الغلاف الجوي الحالي للكرة الأرضية على كميات قليلة أو كثيرة من مختلف الشوائب، وأن مصدرها ممكن تقسيمه إلى طبيعي أو اصطناعي. قد تظهر هذه الشوائب نتيجة الدورة الطبيعية للمواد والعمليات والنشاط البشري، وفي مكونات كيميائية أو متشتتة على هيئة غاز يدخل البخار فيها، والجزئيات الصلبة بدرجة قد تكون إيجابية أو سلبية التأثير على الكائنات الحية المتواجدة في الوسط المحيط وعلى القيمة المادية أيضاً.

وإن جميع الشوائب المتواجدة في الغلاف الجوي فهي ليست نواتج التلوث.

فمثلاً يحتوي الهواء الجوي على الأزون وفي تركيزات مخيفة وحتى مدمرة ولكن يعتبر ذو قيمة طبيعية وضرورية، فماذا لو اعتبرنا أن المذكور ذو تأثير سلبي على وجود الكائنات الحية. إذا فإن تلوث الهواء لا يمكن أن يعتبر من خواصه الغازية والأجزاء الصلبة والمواد المشعة أو تركيزاتها، والتي تسبب سلباً على ظروف تواجد الكائنات الحية الأرضية، وقد تسبب في تحطيم النشاط الجوي في لحظة أو في المستقبل. إن الشوائب المتواجدة في الهواء الجوي حتى الشبيه بالمكونات الكيميائية ومختلفة التركيز تظهر غير متساوية في التأثير على مختلف المجموعات والأنواع من الكائنات الحية.

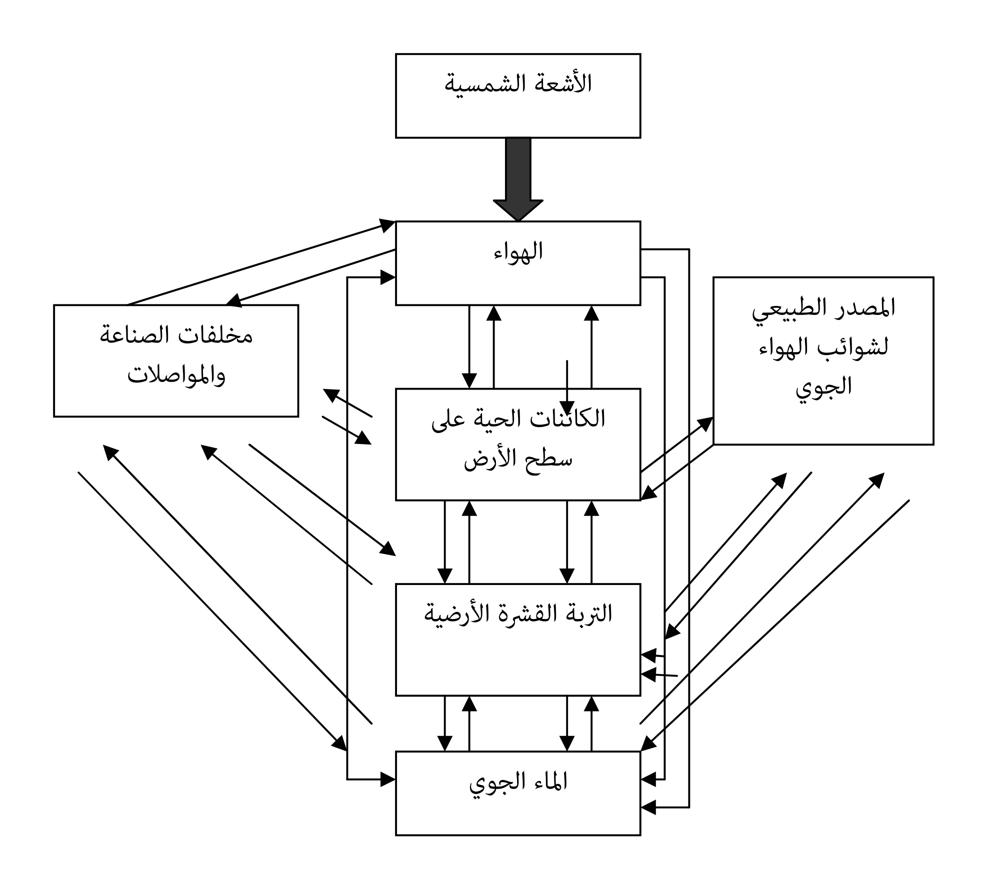
فمثلاً كبريتيد الهيدروجين، أكسيد الكربون، هيدروكربونات فإن جميعها سامة للإنسان والحيوان، ولكن غير ضارة أو حتى تكون مصدر غذائي خاص لبعض المجموعات من الكائنات الحية الدقيقة. فمن هنا وعلى هذا النمو يجب وضع علامة السمية والضرر لشوائب المتواجدة في الهواء الجوي ويجب النظر ليس فقط على الشوائب المتواجدة من المركبات الكيميائية وتركيزاتها، ولكن قبل كل شيء من حيث تأثيرها على مختلف الكائنات الحية سواءاً كانت بشرية أو حيوانية أو نباتية وحتى أحياء دقيقة، والمركبات الغير الحية للغلاف الجوي وقيمتها المادية.

فهذه الشواهد التي سبق ذكرها يجب أن تكون دليلاً إضافيا عن الخسائر الاقتصادية وكذلك الدور السلبي لتلوث الهواء الجوي على صحة الإنسان، المنتجات الحيوانية، كمية ونوعية المحاصيل النباتية، وخصوبة التربة.

إن تركيز التلوث الغير الضار بالهواء الجوي تحدده المكونات الكيميائية، ويجب التوقف اعتماداً على أساس ظهور التأثيرات السلبية على الأغلبية الحساسة من مجموعات الكائنات الحية. وتحت تأثير العوامل غير المشتركة، ممكن القول في أقل أو أكثر تأثير مدمر لدورة المواد والطاقة في النظام البيئي. في الشكل رقم (1) مخطط عام لدورة المواد والطاقة في الغلاف الجوي مع مكان الشوائب الطبيعية والصناعية.

إن المصدر الرئيسي لعملية الطاقة التي توجد في الغلاف الجوي حول الأرض تعتبر الأشعة الشمسية التي تؤمن تحريك الكتل الهوائية والمائية، المتواجدة على الأرض، داخل التربة والماء من حيث الكائنات الحية المتواجدة فيها، وكذلك تركيز وتوزيع عناصر منفردة في الغلاف الجوي المحيط.

إن المكونات الكيمائية بسرعة يزداد حجمها عند دخولها الغلاف الجوي، ويظهر التأثير ملحوظاً على أماكن دورة المواد والطاقة خاصة في المناطق الكثيفة السكان. إن مصادر الخامات والطاقة المستخدمة للإنتاج والنقل بتشكيل عوادم بشكل غازات، أبخرة وجزئيات صلبة تلفظ في الهواء الجوي، أما المخلفات السائلة – الصلة ترمى على سطح الأرض. تنتقل مخلفات وسائط النقل والصناعة من الهواء الجوي إلى سطح الأرض والكائنات المتواجدة على الأرض، والتربة والمسطحات المائية.



الشكل رقم (1)

مخطط عام لدورة المادة والطاقة في الغلاف الجوي ومكان الشوائب الطبيعية والصناعية

تتراكم المادة العضوية وتنتقل التربة عن طريق الغسل أو مع مياه الأمطار الهاطلة، فقسم تمتصه جذور النباتات والآخر يذهب مع مياه الأنهار إلى البحار والمحيطات. يتبع ذلك تبادل من المواد والطاقة بين الكائنات الحية تضيف مركبات جديدة أو تتوقف عن التركيز العالي لشوائب في الهواء الجوي. كل قسم من الهواء الجوي المشبع يتغير من خلال الوقت والانتشار في المساحة.

ب.المصدر الطبيعي لتلوث الهواء

يقوم الغلاف الجوي المحيط والقريب من سطح الأرض بامتصاص وبشكل مستمر كميات كبيرة جداً من الغازات ذات مصدر عضوي أو غير عضوي، وأبخرة وجزئيات صلبة منها يبقى عالقاً بالهواء أما القسم الآخر يستقر ويترسب على سطح الأرض بفعل الوزن والجاذبية الأرضية.

تتشكل هذه الملوثات سواء كانت عضوية أو غير عضوية نتيجة النشاط الحيوي للكائنات الحية والعمليات الجيولوجية والجيوكيميائية التي تحدث في القشرة الأرضية.

فإن تمعدن المواد العضوية أثناء دخولها الهواء الجوي يرافقها عدا الكربون كمية ملحوظة من غاز النشادر والميتان وكبريتيد الهيدروجين وغازات أخرى. وأن هذه الحالة كثيرة التكرار وتحدث على سطح الأرض وفي قاع المسطحات المائية الصغيرة. وفي المقابل تتشكل كتل عالية التركيز من الشوائب العالقة بالهواء الجوي قرب السطح. أما كمية الشوائب الغازية والتي تدخل الهواء الجوي تحددها كمية الوقود العضوي ودرجة قابليته للتفكك في ظروف الوسط المحيط. ولذلك فإن مقدرة الهواء الجوي على امتصاص الشوائب الغازية المتشكلة يحدده مجال الانتشار.

يعتبر النبات مصدر مهم في لفظ مركبات عضوية في الهواء الجوي خلال حياته وكذلك الحيوانات والأحياء الدقيقة. وأن صفات جميع المركبات الكيميائية المعقدة الناتجة غير واضحة. مع العلم أن الكائنات الحية من بكتيريا وفطور وحتى النباتات الزهرية وأعضائها المنفردة (ورقة - زهرة - بذورة نامية) تقوم بطرح مواد مختلفة الأشكال في هواء الوسط المحيط من هيدروكربونيات، كحول، أحماض عضوية، أثير، الديهيد وغير ذلك. وإن المواد الطياره الأخرى ذات تأثير قد يكون مغذي أو قاتل للأحياء الدقيقة التي تطلقها النباتات ولكن الدراسة لا زالت مستمرة.

يتميز الهواء المتواجد في الغابات دائمة الخضرة (المخروطيات) باحتوائه زيوت عطرية طيارة تطرحها الأوراق والأفرع والأزهار، وهذه الروائح وفي أغلب الأحيان ذات تأثير إيجابي على صحة الإنسان، فهي تساعد في معالجة بعض الأمراض وتساهم وبشكل فعال بتنقية الهواء الجوي من المواد والغازات الملوثة على مدار السنة.

تنطلق في الغلاف الجوي كميات كبيرة من الغازات المختلفة والأبخرة وغير ذلك من المواد الملوثة انطلقت ولا زالت تنطلق من البراكين ومن مصادر أخرى تحت القشرة الأرضية وفوقها وذلك من حرائق متكررة هنا وهناك للغابات. فعندما يبدأ البركان بثورته يقوم بطرح غازات مختلفة التركيب والتي يدخل فيها الكربون، الكبريت، ومركبات الكلور، والفلور.......... وعند حالة الهدوء له يقوم بلفظ أو بطرح غاز (كبريتوزي - كبريتيد الهيدروجين أكسيد الكربون، الميتان).

وهناك شوائب صلبة معلقة بالهواء الجوي وما تلبث أن تترسب بفعل الثقل والجاذبية الأرضية وقد يكون مصدرها أرضي أو فضائي مع العلم أنه يسقط يومياً على سطح الكرة الأرضية، كميات كبيرة من الجزئيات الصلبة ذات المصدر

الفضائي تصل إلى (10) ألف طن، وأكثر من ذلك وهي ذات قياسات وتبدأ من الجزئيات المحوسة وحتى عشرات الميكرونات. وأن الطبقة العليا من الستراتوسفير مشبعة بكمية كبيرة من الغبار الفضائي.

فمن الملاحظ أن الغبار المتواجد في الهواء الجوي يكون من الجزئيات الصلبة مصدرها أو منشئها الأرض. وعندما يثور البركان تنشط وتشتد العواصف وبدورها تقوم برفع جزئيات التربة وبكميات كبيرة من سطح الأرض وكذلك أثناء حرائق الغابات. أن الرياح التي تهب على اليابسة قادمة من البحار والمحيطات فتكون محملة بالبلورات الملحية، وكذلك تقوم الرياح بحمل كيات وأنواع مختلفة من حبوب اللقاح فتقوم بإلقاء حمولتها في الهواء الجوي مما تزيد من كمية المواد العضوية والمعدنية العالقة بالهواء. وأثناء ثورة البركان تنطلق سحب كثيفة سواء من الأدخنة أو من الحرائق والتي تؤدي إلى زيادة حجم وكمية المواد الغريبة في الهواء الجوي، والتي ليس غريبا أن تنتشر وعلى مساحة تصل إلى آلاف الكيلومترات. وفي 12 مايو سنة 1934 غطت سماء مدينة نيويورك غيوم سوداء داكنة من الغبار حجبت الشمس لمدة خمس ساعات. نفس الغيوم من الغبار الكثيف غطت سماء واشنطن وبشكل لم ترى المدينة له مثيلا في تاريخها. كما أن كل الشواطئ الشرقية من الولايات المتحدة الأمريكية ظهرت مغطاة بضباب كثيف من الغبار يحتوي على 350 مليون طن من التربة. ويذكران السفن التي كانت تبعد 300 ميل عن الشاطئ قد تأثرت بهذه الغبار وعند هدوء الرياح تغطت نصف الولايات المتحدة بطبقة من الغبار صادر عن السهول الكبرى.

إن الرياح القوية التي تقوم برفع قطرات ماء البحار في الهواء تكون مشبعة بأملاح حامض الكبريتيك وأملاح الكلوريدات والكبريتات وتقوم هذه الرياح بإلقاء ما تحمله من أملاح على اليابسة وعلى المياه العذبة. ففي إنكلترا مثلا يلقى

سنويا في المناطق القريبة من البحار 25- 35 غ/م^2 من الأملاح. هذا و يلاحظ تواجد النباتات المتحملة للملوحة في المناطق القريبة.

وهناك أوقات من السنة يتلوث الهواء كثيراً من جراء تناثر أجزاء صغيرة مصدرها نباتي وذلك عند ازدهار النباتات ففي هذه الأوقات تظهر سحب من حبوب اللقاح والأبواغ الخفيفة. ويقوم الهواء بنقلهم إلى الأماكن السكانية القريبة مما يتسبب من جراء ذلك بعض الإزعاجات لناس وظهور بعض الأمراض الحساسية والتنفسية.

في الأماكن المتميزة بالكثافة العالية السكانية، يكون الهواء محملا بأعداد كبيرة وهائلة من البكتيريا مختلفة الأنواع مع العلم أن بعضها مفيد. بعض النباتات تقوم بإلقاء مفرزاتها ويقوم الهواء بنقلها مع العلم أن بعض هذه المواد لها دور كبير في تنقية وتلطيف الهواء، وهذا ما نلاحظه من قبل الأشجار الحراجية دائمة الخضرة لذلك فعند انتشار الغابات والأشجار الحراجية في الحدائق والمسطحات وحول المدن والطرقات ضمن المدينة وخارجها وفي هذه الحالة يكون الهواء لطيفا وأكثر نقاوة، مما هو عليه في المناطق التي تفتقر أو عديمة الغطاء النباتي السابق الذكر.

قد تنتقل الأجزاء الصلبة الصغيرة الملوثة للهواء الجوي مع الجزئيات السائلة حيث تتركز في وسطها مشكلة النواة وحولها بخار الماء، فتشكل سحب وضباب. وخلال ذلك تحدث عملية الأكسدة حيث أن مركبات الكبريت تتأكسد في الهيدريد الكبريت، وكذلك أملاح النشادر نتراتيات أخرى وكذلك أيضاً أحماض نشطة التأثير مع الرطوبة الجوية للهواء مشكلة جزئيات سائلة، فتزداد العملية مع زيادة الرطوبة وتنخفض عندما تتناقص.

عند تعكر الهواء الجوي نتيجة تواجد كميات كبيرة من الأجزاء الصلبة والسائلة المعلقة، وتؤدي إلى تبعثرها أشعة الشمس في الهواء الجوي وتسبب إلى

تناقصها والحد من وصولها إلى سطح الأرض مما يسبب إلى الانخفاض في درجة حرارة الهواء المحيط والقريب من سطح الأرض لعدة درجات.

وعند تنقية الهواء الجوي الملوث ويحدث ذلك عن طريق امتصاص قطرات الماء للغازات، مما يؤدي إلى انحلالها مع ماء الأمطار وبعد الهطول يحدث ترسبه على سطح الأرض. وأن عملية تنقية الهواء الملوث يشتد مع الاقتراب من سطح الأرض وذلك نتيجة امتصاصه من قبل أوراق الغطاء النباتي يحدث هذا بالنسبة للغازات. أما من ناحية الأجزاء الصلبة فمن خلال عملية الترسب وذلك بفعل الثقل والجاذبية تتراكم على سطح الغطاء النباتي والأرض معاً.

إن الهواء الجوي المشبع بمختلف الشوائب نتيجة تأثير العوامل الطبيعية ففي أغلب الأحيان يكون ليس كبيراً ويحدث مرحلياً. وأن الشوائب في الهواء الجوي ذات تراكيب غازية مختلفة الأنواع والأشكال ومواد غريبة من المواد الصلبة أو السائلة فإن مجموع في حجمها لا تشكل جزء واحد من المليون والمليار من الأجزاء الأخرى في الحجم.

جـ. المصدر والمكونات الاصطناعية لتلوث الهواء الجوي

لقد بدأ تلوث الهواء المحيط بالكرة الأرضية مع بداية النشاط العملي والحياتي للإنسان وذلك منذ اكتشاف النار واستخدام منتجات الأشجار خدمة للإنسان. وبدأ هذا منذ آلاف السنين ولا يزال التأثير مستمر ومنتشر على نطاق واسع حتى يومنا هذا.

ومع بداية الثورة الصناعية لجأ الإنسان لتنظيم المنشآت والمشاريع والمؤسسات الصناعية فأصبحت تعمل مصدراً كبيراً لتلوث الهواء. وذلك نتيجة للفظ الأدخنة وقد اشتد وازداد بشكل مع بداية استخدام الفحم الحجري بدلاً للأحطاب كمصدر أساسي للوقود. فمثلاً وقبل ذلك وفي القرن الرابع عشر قد

صدر في إنكلترا قانون يمنع حرق الفحم الحجري في مدينة لندن. وفي روسيا عام 1833 قد صدر قانون بإبعاد المنشآت الصناعية التي تعمل باستخدام وقود مثل الفحم الحجري عن الأماكن السكانية.

وبدأ الهواء الجوي بامتصاص كميات كبيرة من مختلف الشوائب الغازية تزداد وتنمو مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين، ويرجع السبب في ذلك إلى التوسع والانتشار الكبير للمنشآت الصناعية وتجمعات الصناعات الثقيلة، وظهور صناعات جديدة لم تكن موجودة من قبل، تعتبر مصدراً جديداً وكبيراً يقوم برمي المواد الملوثة في الأماكن القريبة من المدن الكبرى والتجمعات السكانية والتي تتميز بالكثافة العالية وبالإضافة إلى ذلك هناك مصدر كبير وله دور أساسي في تلوث الهواء داخل المدن والتجمعات السكانية وهي وسائل المواصلات المختلفة.

وإن استطاعة الطبيعة وذلك بتخليص وتنقية الهواء الجوي من الملوثات التي تطلقها المراكز الصناعية ووسائل المواصلات المختلفة من برية وبحرية وجوية أقل بكثير من سرعة تشبع الهواء لمختلف الشوائب الملوثة. وفي النتيجة ولهذه العلاقة مع المواد الملوثة تقوم التيارات الهوائية بنقل المواد الملوثة المعلقة في الهواء إلى مسافات بعيدة مما ينتج عن ذلك حدوث نقل للمواد الملوثة ذات التأثير غير المناسب والضار لمناطق بعيدة. وقد يكون تلوث الهواء الجوي من مصدر أولي – كمخرج الأدخنة من وسائل المواصلات أو من الصناعة (محرك)، والمصدر الثاني – نواتج التفاعلات الكيميائية، فيزكيميائية – تفاعلات بين المواد الملوثة ومكوناتها بين بعضها البعض أو بينها وبين مكونات الهواء. فمثلاً غاز الكبريتي، ذو التأثير النشط مع بخار الماء ويشكل كتلة حمض الكبريت. وعند التأثير المتبادل بين الدهيد الكبريتي والغازات المختلفة المتشكلة من النشادر تتشكل بلورات ملحية نشادر كبريتي. أما الجزئيات السائلة والصلبة فإنها ممكن أن تحدث تفاعلات تسبب ما

يعرف بالتآكل. عادة فإن وسائل المواصلات سواء كانت خفيفة أو ثقيلة برية - بحرية وجوية وكذلك المعامل والمصانع تلفظ في الهواء الجوي مواد التركيب بدأ من الغازات العادمة مروراً في بخار الماء وانتهاء بالجزئيات الصلبة. ولكن أحيانا تكون المواد التي تلفظ في الهواء الجوي فقط مخلفات غازية كمصافي النفط.

تقوم المنشآت الصناعية وبشكل مستمر بلفظ في الهواء وعند مداخنها تركب ناثرات لأبعاد المواد الملوثة لأنه وفي غالب الأحيان تتساقط بالقرب من المصدر، ويتوقف كل ذلك على الوزن النوعي للجزئيات وسرعة الرياح مع العلم أن المكونات الكيميائية لمختلف الغازات والجزئيات التي ترميها المنشآت الصناعية في الهواء وحتى من مصدر واحد تكون متنوعة كثيراً. فمثلاً عند احتراق المادة العضوية لا يحدث وبشكل كامل تأكسد نهائي، حيث تتشكل منتجات غير كاملة الاحتراق. وعند الحرارة العالية تتأكسد جزئيات آزوت الهواء الجوي وأن مكونات الوقود العضوي ونظام الاحتراق تحدد كمية الغازات التي تطلقها في الهواء الجوي. وأن وسطهم والأكثر ضرراً يعتبر أوكسيد الكربون، أوكسيد الكبريت والآزوت، والكبريتيد، مواد وزيوت قطرانية مختلفة.

وعند استخدام البنزين كوقود لتشغيل محركات السيارات فعند الاحتراق تنطلق مواد عديدة وبالإضافة للمواد السابقة الذكر هناك أيضاً الرصاص، وكذلك عند احتراق الفحم بالإضافة إلى ذلك فإن هناك كمية كبيرة من الرمادة وهي جزئيات صلبة. وأن الوقود العضوي مثل الغاز الطبيعي - الفحم الحجري، النفط يتميز بإطلاق كميات كبيرة من الجزئيات الصلبة ومواد سامة ورميها في الهواء المحيط.

1- وسائط النقل

تقوم وسائط النقل على اختلاف أنواعها الخفيفة أو الثقيلة وكذلك برية أو بحرية أو جوية بإلقاء في الوسط المحيط كميات كبيرة من الغازات العادمة، وأن

المكونات الداخلة في هذه الغازات تزيد على 200 نوع من مختلف المركبات. بالإضافة إلى الغازات التي تطلقها والتي لا تدخل في عملية الاحتراق (الآزوت، الأوكسجين، بخار الماء، ثاني أوكسيد الكربون)، بالإضافة إلى الغازات العادمة التي تطلقها تحتوي على مركبات كاملة أو جزئياً مؤكسدة بالوقود العضوي. وأن أكبر كمية من المركبات تتحد في مجموعات هيدوكربونات. ينتمي لهم الكائنات، الكيان، البسيكلية، ومركبات عطرية طيارة الجدول (1)

الجدول رقم (1)

محتوى الغازات العادمة لسيارات %

(DimRE – 1973)

المادة	محركات البنزين		محركات الديزل	
	العظمى	المتوسط	العظمى	المتوسط
غاز حامض الكربونيك	15,0	9,0	13,8	9,0
أكسيد الكربون	13,5	4,0	7,6	0,1
هيدروكربونات	4,0	0,5	0,5	0,02
الهيدروجين	5,8	2,0	2,5	0,03
الديهيد	0,03	0,004	0,004	0,002
أكاسيد الأزوت	0,2	0,06	0,15	0,04
غاز الكبريت	0,008	0,006	0,03	0,02

وأن متوسط المواد الملوثة والتي تنطلق في الغازات العادمة لسيارات باعتبارها أحد وسائط النقل الأكثر استعمالاً، حوالي 32% هيدروكربونات والتي تعتبر أو التي تنتمي للغازات المشبعة، أما الغير مشبعة حوالي 27,2% وزيوت عطرية (روائح) حوالي 4% والديهيدريدوكتونات حوالي 2,2%. وأن متوسط الديهيدريدفومالديهيد حوالي 60%، والديهيدريد العطري 3%.

وإن أكبر كمية لمركب الكربون يطلقها محرك البنزين عندما يعمل على السرعة البطيئة بينما كمية الأزون تتزايد طردا مع زيادة السرعة، أما محركات الديزل والتي تستخدم وقودا كالمازوت فعند عملها التسارع والتباطئ مبين في الجدول (2).

الجدول رقم (2)

المكونات السامة في الغازات العادمة للسيارات بعلاقة مع السرعة

(Dimre – 1973)

<table dir="rtl">
<tr><th rowspan="3">المادة الملوثة</th><th colspan="4">محركات البنزين</th><th colspan="4">محركات البنزين</th></tr>
<tr><th colspan="4">السرعة</th><th colspan="4">السرعة</th></tr>
<tr><th>بطيئة</th><th>تسارع</th><th>عالية</th><th>تباطؤ</th><th>بطيئة</th><th>تسارع</th><th>عالية</th><th>تباطؤ</th></tr>
<tr><td>أكسيد الكربون %</td><td>13,80</td><td>2,80</td><td>5,10</td><td>4,80</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr>
<tr><td>هيدروكربونات %</td><td>0,98</td><td>0,20</td><td>0,05</td><td>2,64</td><td>0,047</td><td>0,018</td><td>0,013</td><td>0,061</td></tr>
<tr><td>أكسيد الأزوت سم^3 / م^3</td><td>45,00</td><td>1430</td><td>314</td><td>12</td><td>60</td><td>827</td><td>310</td><td>40</td></tr>
<tr><td>فورما لديهيد سم^3 / م^3</td><td>72,00</td><td>28</td><td>1</td><td>1114</td><td>4</td><td>7</td><td>4</td><td>7</td></tr>
</table>

ومن الطبيعي أن المواد الملوثة تزداد كميتها وذلك عند تقاطع وعلى مفارق الطرق ويعود السبب في ذلك إلى تباطؤ حركة وسائط النقل والمحرك لا يزال يعمل وتنطلق المواد الملوثة حتى وكانت في حدودها الدنيا. وأن الغازات العادمة التي تطلقها محركات السيارات وخلال مرحلة العمل بالسرعة العالية تنتشر في حيز كبير من الهواء وفي هذه الحالة لا تعمل أو تشكل تلوث بشكل ملحوظ.

ولكن مع زيادة عدد السيارات وكثافتها وكذلك سرعة عمل المحرك خاصة في الطرقات العامة الضيقة في المدن مع انخفاض مقدرة الهواء على الحمل نتيجة تشبعه بالمواد والغازات الملوثة تتشكل سحب دخانية من غازات العادمة وعلى مساحات واسعة. مع بداية عام 1973 وصل عدد السيارات في العالم إلى ما لا يزيد عن 250 مليون، وخلال نفس السنة فقط أضيف إلى الرقم السابق الذكر والخاص بمجموع عدد السيارات في العالم 40.7 مليون سيارة جديدة. وهذا يعني أن الرقم بمطلع القرن الحادي وعشرون يصل إلى عدة أضعاف. مع العلم أن الكمية العظمى لعدد السيارات تتواجد في المدن الكبرى وخاصة في الدول المتطورة صناعياً في العالم.

ففي الولايات المتحدة الأمريكية وصل عدد السيارات في ذلك التاريخ إلى 124.5 مليون، وفي اليابان 25 – وفرنسا 16.8 – أما ألمانيا وقبل اختفاء جدار برلين يزيد بكثير عن 18.4 – وإنكلترا 13.7 – وإيطاليا 14.5 – والسويد 2.7، هذا بالإضافة إلى عدد السيارات المتواجد في دول شرق أوروبا ودول جنوب شرق آسيا لا يستهان به. وإن المتوسط العالمي للسيارة الواحدة والتي تخدم 18.5 إنسان، بينما في الولايات المتحدة الأمريكية فهي تخدم فقط 2.2 – وفرنسا 3.1 – والسويد 3.4 – وإيطاليا 4 – واليابان 7.6 إنسان. وعند النظر إلى كثافة السيارات على 1كم^2 يلاحظ أن اليابان يحتوي على عدد السيارات أكثر من 8 مرات مما هو عليه في الولايات المتحدة الأمريكية.

إن طرق المواصلات في المدن الكبرى من حيث كثافة عدد السيارات أكثر مما هو عليه في المناطق الأخرى.

ففي شوارع مكسيكو وباريس مثلاً يتحرك بوقت واحد أكثر من 800 ألف سيارة. فمن حيث عدد السيارات المتواجدة أو التي تسير في الشوارع فمدينة لوس أنجلس – تأتي في المرتبة الأولى ويعود السبب لاحتوائها على أكثر من 3.75 مليون سيارة. وأن العدد الهائل للسيارات المتواجدة في هذه المدينة أو غيرها ترمى كميات كبيرة من أدخنة الغازات العادمة وغيرها من المواد السامة اعتماداً على الاستهلاك الكبير للوقود وحرقها ورميها في الهواء الجوي من مواد ملوثة سامة مختلفة. وعلى سبيل المثال تلفظ السيارات التي تتواجد في مدينة لوس أنجلس وحدها فقط (10) آلاف طن من أكسيد الكربون يومياً وكذلك ألفي طن من مركب الهيدروكربونات وأكثر من 530 طن من أكاسيد الأزون انظر إلى الجدول (3).

الجدول رقم (3)

عامل تحديد كمية المواد السامة في 1 طن وقود

(Saidamenov – 1990)

المادة السامة	أنواع الوقود		غاز
	مازوت	بنزين	
CO	0,1	0,6	0,17
CH	0,0	0,1	0,06
NO	0.04	0,04	0,04
سخام	0,015	0,00058	ـــــ
الديهيد	0,0025	0,004	ـــــ
SO^2	0,02	0,002	ـــــ
PB	ـــــ	0,0003	ـــــ

(تحديد كمية المادة السامة = كمية الوقود × العامل)

وإن المتوسط السنوي لكل سيارة تقطع حوالي 15 ألف كم، فإنها تستهلك من الأوكسجين حوالي 4350 كغم، فتطلق في الهواء الجوي أكثر من 3250 كغم من غاز ثاني أكسيد الكربون و530 كغم أكسيد الكربون و93كغم هيدروكربونات و27 أكاسيد الأزوت.

وإذا قمنا بإحصاء عدد السيارات نحصل على معلومات تؤكد أن عدادها يتزايد طردياً، وهذا يعكس سلباً على الوسط المحيط وذلك بزيادة كمية المواد السامة والأدخنة الأخرى. لذلك فليس غريباً من وصول ذلك المواد إلى الحد غير المعقول في بعض المدن مثل لندن – نيويورك – شيكاغو – طوكيو – مكسيكو – باريس – روما وغيرها من المدن ذات الكثافة السكانية العالية. حيث أن تركيز الغازات العادمة والمواد السامة التي تنطلق من السيارات وترمى في الهواء الجوي لمدينة روما مثلا يزيد 1500 مرة عن التركيز الذي هو عليه في مدن العالم الثالث.

وعند زيادة وانتشار الأدخنة العادمة وغيرها من المواد في الهواء الجوي لكثير من مدن الدول المتطورة صناعيا (الولايات المتحدة الأمريكية، ألمانيا، فرنسا، إنكلترا، الدانمرك) اتجهت الحكومات في هذه الدول لإقامة مناطق تمنع حركة السيارات. والهدف من ذلك هو خفض الأدخنة والمواد الملوثة في بعض الأقسام، ولكن هذه الخطوات لم ولن تغير شيء من الكميات الكبيرة التي تلفظ في الهواء وفي أغلب الأحيان يتبع لجمع المعلومات الناتجة عن المراقبة الطويلة والمستمر لكمية الرصاص المتوجدة في الهواء الجوي مثلا لمدينة بربانا – شيمبيون في الولايات المتحدة الأمريكية ومن خلالها على بعد 18 كم، مع العلم يتواجد في نفس الوقت 8- 20 ألف سيارة قادمة يومياً.

إن متوسط كمية الرصاص في الهواء الجوي للمدن وصل إلى 0,227ملغ/م^3 وقد ارتفع هذا الرقم لحدود 1,036 ملغ/م^3. مع العلم أن هناك مصادر تؤكد أن

نسبة الرصاص في الهواء الجوي للمدن الصغيرة في الولايات المتحدة الأميركية يصل إلى 140'0ملغ/م^3، ولكن في مدينة لوس أنجلس يصل إلى 4,55ملغ/م^3. ولأجل خفض دور السيارات في تلوث الهواء الجوي بالغازات العادمة المنطلقة من المحركات ذات الاحتراق الداخلي بحثث طرق جديدة للعمل، وتهدف إلى الحد من هذه الظاهرة، ويجب على الحكومات في هذه الدول التي تعاني من مشكلة التلوث العالمي في المدن والمراكز السكنية اختصار أو التقليل بشدة من درجة استخدام البنزين الكحولي، واستخدام مواد منخفضة لأكسدة الكربون، هيدروكربونات وأكسيد الآزوت، واستخدام الغاز الطبيعي بدلا من البنزين واستخدام كذلك وقود هيدروجيني.

والأمل الكبير في إمكانية استخدام محركات كهربائية بدلا من محركات الاحتراق الداخلي مع العلم أن السيارات التي تعمل على الطاقة الكهربائية قد جربت وأثبتت نجاحها ولكن لا زالت محصورة على نطاق باصات النقل الداخلي في كل من روسيا – فرنسا – إنكلترا ومن ميزات هذه الباصات أنها لا تلفظ أدخنة ومواد سامة في الهواء الجوي وبدون أصوات مزعجة إي بدون ضجيج.

ومع كل يوم وكل سنة ترمي في الهواء الجوي مواد ملوثة جديدة تضاف إلى الكميات السابقة، ناهيك عن الكميات التي تطلقها الطائرات أثناء عملها. مع العلم أن قيام طائرة برحلة عبر المحيط الأطلسي تقوم باستهلاك الأوكسجين اللازم لحرق الوقود الكافي لها بهذه الرحلة 50- 100 طن وتقوم بإشباع الهواء الجوي بالمواد الكاملة وجزء من الوقود المحترق. وأن الغازات العادمة التي تنطلق من محركات الطائرة تحتوي على 70 نوع من الأنواع المختلفة من الهيدروكربونات تحتوي على 1- 13 ذرة كربون. ويتواجد في الوقود – 85,9% برافين، 4,3% مواد عطرية طيارة 0,79% أولفينات (هيدروكربونيات غير مشبعة، ومن الغازات العادمة لطائرة فإن كمية الأولفينات) تزداد حتى تصل إلى 75%.

في الطبقة القريبة من سطح أرض المطار وأثناء مرحلة الإقلاع والهبوط لطائرة وخلال فترة زمنية قصيرة فإن الهواء الجوي وفي هذه الطبقة بالذات تزداد المحتويات السامة من أكسيد الكربون، أكاسيد الأزوت والكبريت، الديهيدريد وجزئيات من السخام.

وفي السنوات الأخيرة من القرن العشرون ازداد التوجه بإطلاق وإرسال المركب الفضائية والصواريخ والأقمار الاصطناعية لأغراض عدة منها العلمية أو للاتصالات أو لأغراض عسكرية وتحلق الطائرات في الستراتوسفير، فكل ذلك يؤدي إلى خطر في إمكانية تحطم حجاب الأزون، وكانت النتيجة بداية ظهور ثقب في طبقة الأزون، حيث هذا الثقب يمكنه السماح بدخول الأشعة فوق البنفسجية وأشعة أخرى ووصولها إلى سطح الأرض وبدور هذه الأشعة يمكن القضاء على الكائنات الحية الموجود على سطح الأرض.

وإن الطائرات التي تتميز بسرعتها الأعلى من سرعة الصوت فإنها تحتاج لحرارة أعلى وذلك بحرق وقودها داخل محركاتها مما هو عليه من حيث الحرارة للطائرات العادية، بالإضافة إلى كل ذلك فإن الغازات العادمة التي تطلقها من محركاتها بعد حرق الوقود فإنها تطلق أكسيد الكبريت، وأكسيد الكربون وتزداد نسبة أكاسيد الأزوت وعدد كبير من الشوائب بمقدرتهم البقاء والتواجد في طبقة الستراتوسفير فترة أطول ويمكن لأكسيد الأزوت أن يحدث تأثير متبادل مع الأزون، ولكن هذا لا يسبب انخفاض ملحوظ لمكونات الأزون في الستراتوسفير.

يعتبر البعض أنه في حال اختفاء الأزون من على ارتفاع 10- 20كم نتيجة لحركة الطائرات والغازات التي تلقيها على ذلك الارتفاع، فإن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الأخرى يمكن أن يمتصها الأزون الذي يتواجد على ارتفاع 40- 60كم.

ولكن المعروف أن انتشار الغازات العادمة التي تطلقها الطائرات وبشكل أفقي وعامودي، فأثناء خلطه يصل حتى ارتفاع 90كم. إن وسائط النقل الأخرى من قطارات وسفن وبواخر وقوارب كلها تعمل وتساهم بشكل فعال في عملية التلوث ولكن النسبة غير عالية، ويلاحظ فقط في محطات الخطوط الحديدية. أحياناً تفوق كل ذلك ما تسببه ناقلات النفط وذلك نتيجة احتوائها على كميات هائلة من النفط ورميها وسط البحار أو المحيطات ويتضاعف الضرر عند وصول المواد النفطية إلى الشواطئ فيكون التأثير مزدوج.

2- المؤسسات والمشاريع الصناعية

تقوم المؤسسات والمنشآت الصناعية المختلفة برمي مخلفاتها في الوسط المحيط وتتميز هذه المخلفات بتركيبها المعقد كيميائياً وذو درجة كبيرة من حيث التأثير على الكائنات الحية. يدخل في مكونات ما ترميه من نواتج احتراق المواد العضوية ومخلفات عمليات التصنيع أو إعادة التصنيع والاحتكاك الميكانيكي. وأن أكبر كمية من ما يلقى في الهواء الجوي نواتج حرق الوقود المستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وصناعة التعدين، والصناعات الكيميائية والبتروكيميائية.

وأن أكبر كمية من المواد الملوثة والتي تنطلق إلى الهواء الجوي فهي الغازات، فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية كمية الشوائب الضارة المتعلقة بالهواء الجوي من الأجزاء الصلبة 10% أما البقية فهي غازية. وأن المصدر الرئيسي لهذه المواد في الهواء الجوي تنحصر من المنشآت والمشاريع الصناعية التي تحرق أو تعيد استعمال المواد العضوية – الفحم الحجري والمنتجات البترولية. وإن حرق الوقود العضوي وبكمياته الهائلة يتم استخدامه واستهلاكه كوقود في محطات توليد الكهرباء، التعدين والصناعات الأخرى.

وإن غاز الديهيدريدالكبريتوزي يتشكل نتيجة حرق الوقود العضوي والذي يـشكل حـوالي 78% مـنهم 58% غـاز الكبريتـوز مـصدره احـتراق الفحـم الحجـري، و20% مـن المنتجات البترولية وأما البقية تشكل 22% من جميع المصادر المختلفة.

أ- تلوث الهواء الجوي نتيجة احتراق الوقود

في نهاية الحرق الكامل للوقـود يعتـبر غـاز الكربـون والمـاء. بالإضـافة إلى مـا بعـد الحرق يتبقي رماد وغازات جزء منها طيارة، ومن ضـمنهم يحتـل غـاز الكبريتـوز ولكـن لا يحدث حرق كامل للوقود بشكل نهائي، وينتج عن ذلك منتجـات غـير كاملـة أو بـالأحرى وقود غير كامل الاحتراق، حيث يتشكل أكسيد الكبريت، الأزون ورماد. وأن المـواد الملوثـة التي تنطلق بالهواء ممكن أن تتغير وذلك حسب نوع الوقود المـستعمل، نظـام الاحـتراق وفعالية كيفية تشكل الغازات وأنواع الجزئيات.

فعند الحرق في حجر خاصة تصل أعلى من 1300- 1500م عنـد ذلـك تبـدأ عمليـة انحلال جزئيات الأكسجين والأزوت.

$$O2 + N2 \rightleftharpoons 2NO - 42.8\ Cal / mol$$

إذا فعند ارتفاع الحرارة في حجرة الاحتراق يؤدي إلى ارتفاع تشكل مريـب لأكاسـيد الأزون الأحادية، فإن احتواء أو تواجد هذا النوع من الأكاسيد في الغازات المنطلقـة يرجـع إلى الحرارة العالية المستعملة. ففي الدورة الصناعية يستخدم أنـواع مختلفـة مـن الوقـود قد يكون صلب أو سائل أو غازي. وإن الأكـثر اسـتخداماً وانتـشاراً يعتـبر الفحـم الحجـري والذي يحتوي على 0,5- 4% كبريت في أشكال مركبات عضوية ومعدنية وكـذلك الآزوت والـذي تصل نسبته إلى 1,5% وخلال عملية الاحـتراق ينـتج عنهـا 85- 99% مـادة كبريتيـة وتـتراوح في التشكل بين كبريتوز والديهيدريد الكبريتي. وينطلق في الهـواء الجـوي أيـضاً كـل مـن الأكاسـيد

الكبريت والآزوت وهما يعتبران الأكبر والأكثر ضرراً للأحياء وغير الأحياء، بالإضافة إلى ذلك يحتوي الفحم على رماد من 2- 45% وبلورات الصوديوم 4- 50%.

وإن الغبار المتكون من الجزئيات الصلبة الصغيرة وكذلك الغازات نتيجة عملية حرق الفحم الحجري حيث مصفيات (فلتر) الهواء بصعوبة جداً تلتقطهم من خلال الفتحات، وتدخل في الهواء الجوي مما تعمل على زيادة تلوث الهواء المحيط.

إن الوقود السائل والذي يتمثل في الغالب (المازوت) يتميز باحتوائه القليل على الجزئيات الصلبة (الرماد)، ولكن يحتوي على مركب الكبريت، وأثناء عملية الاحتراق يتحول مركب الكبريت إلى غاز الكبريتوز. وأن حرق الوقود السائل كباقي أنواع الوقود الأخرى يطلق غازات مختلفة بالإضافة إلى ذلك يطلق كمية أكثر من أكاسيد الآزوت والسخام، إن أكبر كمية تقوم باستهلاك الوقود العضوي تعتبر محطات توليد الطاقة الكهربائية، وأن المحطات التي استطاعتها T. M 2000 فإنها تحتاج لإنتاج هذه الكمية من الطاقة الكهربائية يلزم حرق يومياً 20 ألف طن من الفحم الحجري وبالمقابل يلفظ في الهواء الجوي 140 مليون م^3 من الغازات العادمة. وعادة يستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية فحم ذو نوعية رديئة يحتوي بشكل كبير على الرماد والكبريت. وتحتوي الغازات المنطلقة من فوهة العادم لمحطات توليد الطاقة الكهربائية على كميات كبيرة من الشوائب الصلبة وأكاسيد الكبريت والآزوت ومركبات الفلور وغبار. انظر الجدول رقم (4).

ب- تلوث الهواء الجوي من قبل مصانع التعدين والكيمياء

إن مصانع ومنشآت التعدين (حديد الصلب، الفولاذ، المعادن الملونة) تستهلك كميات كبيرة من الوقود وخاصة الفحم الحجري لإنجاز عملية الصهر في

الأفران والحجر الخاصة، وينطلق نتيجة هذه العمليات كميات كبيرة من الغازات التي تحتوي على الكبريت، الكربون وكمية كبيرة من الأكاسيد المعدنية، وعند إنجاز أو تنفيذ كمية الاستخراج ونقل المواد الخام تنطلق غازات وغبار بكميات كبيرة جميعها تدخل في الهواء الجوي مما يزيد من نسبة التلوث.

الجدول رقم (4)

كمية المواد الملوثة التي تنطلق من فوهة الغازات العادمة لمحطة توليد الطاقة الكهربائية لمدينة طشقند (saiDamenov – 1990)

توزيع الأبعاد	تركيز التلوث ملغ / م^3				
	SO^2	NO^2	NO	CO	غاز
فسحة محطة التوليد	0,14	0,022	0,015	0,31	0,22
بعد عن محطة 1- 2 كم	0,12	0,017	0,010	0,19	0,26
بعد عن محطة 3- 4 كم	0,16	0,042	0,046	0,38	0,31
بعد عن محطة 5- 6 كم	0,10	0,020	0,038	0,08	0,20

إن الجدول (5) يوضح لنا مدى الدور الذي تقوم به الأجهزة المخصصة والمعدة لالتقاط الغازات والجزئيات الصلبة التي تطلقها مصانع التعدين وترميها في الهواء الجوي مما يؤدي زيادة التلوث. مع العمل أن لصهر واحد طن من الفولاذ يرمى في الهواء الجوي 10كغ من الغبار وذلك عند عدم استخدام تيار موجه من الأكسجين، و20كغ من نفس الغبار عند استخدام تيار موجه من الأوكسجين. وبالإضافة للغبار الذي ينطلق ويرمى في الهواء عند صهر واحد طن من الفولاذ ينطلق غاز الكبريتوز (0,5- غ)، ولحرق 1 م^3 من الكوك ينطلق في الهواء الجوي من (3,8- 15غ) من غاز الكبريتوز. وفي هذا الوضع وعند صهر واحد مليون طن من الفولاذ خلال سنة واحدة ينطلق غاز الكبريتوز يوميا ويرمى في الهواء الجوي (3,5- 15طن).

الجدول (5)

كمية المواد السامة التي تنطلق من مصانع التعدين لصهر مليون طن من الفولاذ خلال سنة واحدة (ShaBrencki. B. N – 1965)

	بدون استخدام خفضات التلوث			استخدام خفضات التلوث		
	غبار	SO2	CO	غبار	SO2	CO
مصنع آلات زراعية	1,20	165	250	9,4	33	250
كوك كيميائي	3,7	1,7	30	1,5	0,0	0,2
أفران عالية	6,0	3,3	11	2,6	3,3	0,5
محولات	29,0	1,2	1,5	1,0	1,2	1,5
مقاومات حرارية	9,4	0,3	0,1	0,2	0,3	-
وسائط النقل	0,9	0,7	20	-	-	10
أجهزة الطاقة	129,0	15	ــــ	2,6	15	-
متنوعة	37,9	5,6	39,7	6,2	3,3	27
المجموع	335,96	192,8	400 ≈	25 ≈	65 ≈	320 ≈

إن معامل أو مصانع التعدين المتخصصة بمعاملة وإنتاج المعادن السوداء تقوم برمي في الهواء الجوي غازات مختلفة من الفينول، أكاسيد الآزوت، هيدروكبريت، مركبات الفلور، النزل، النشادر، وكذلك جزيئات صلبة من أكاسيد الحديد، المنجنيز، النحاس، التوتياء، الرصاص، الزنيج، ألمنيوم، تيتانوم.

وإن إنتاج المعادن الملونة تقبر أيضا مصدر قوي لتلوث الهواء الجوي حيث يتواجد في مخلفاتها الملونـة الفلـور، الكبريـت، الكربـون، وأكاسـيد معدنيـة مختلفـة. فمـثلا عنـد معاملة الألمنيوم ينطلق خليط من الغازات وأنواع مختلفة من الغبـار المتحـد مـع الفلـور، والتي تتميز بدرجة عالية مـن الـسمية للنباتـات والكائنـات الحيـة الأخـرى. وعنـد صـهر التوتياء والنحاس يرافق ذلـك العمليـة انطـلاق ورمـي في الهـواء غـاز الكبريتـوز وأكاسـيد الكربون والمعادن.

المصانع الكيميائية والبتروكيميائية تـساهم بـشكل كبـير في تلـوث الوسـط المحـيط نتيجته للكميات الهائلة التي تطلقها. فعند تحـضير حمـض الكبريـت – ينطلـق في الهـواء الجوي أكسيد الكبريت، حمض الآزوت- أكسيد الآزوت والنشادر، حمـض الكلـور – كلـور وأملاح حمضية، وعند تقطير البترول أكسيد الكربون، هيدروكربون، مـواد عطريـة طيـارة. وإن المصانع التي تقوم بتحـضير القطـن الاصـطناعي تقـوم بـإطلاق ورمـي في الهـواء ثـاني كبريتيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين بالإضافة إلى روائح مهيجـة ومـواد شـديدة الـسمية للإنسان، أما مـصانع سـوبر فوسـفات فعنـد معاملـة الفوسـفور حمـض الكبريـت ينطلـق فلوريك الهيدروجين، فلوريك السيليكون، حمض الديهيدريد الفوسفوري وغازات أخرى.

إن إعداد المصانع والمعامل والمؤسسات الصناعية والكيميائية تزداد يـوم بعـد يـوم وبسرعة كبيرة وخاصـة التـي تقـوم بتجهيـز وتحـضير المستحـضرات الكيميائيـة والـصوف الاصطناعي وأجهزة ومواد المكافحة للأمراض والآفات النباتية والأعشاب. وإن المواد الملوثة التي تطلقها معامل الإسمنت – الإسفلت ومن ناحية الكمية وتأثيرها السام عـلى مختلـف الكائنات الحية لا يستهان به، وهي تتكون من مواد صلبة وغازية. فمثلا لإنتاج واحد طن من الإسمنت يتطلب استهلاك طن من الكبريت وأن جزء كبيرا مـن هـذه الكميـة تنطلـق وترمى في الوسط المحيط.

3- التلوث الثانوي لـلـهواء الجوي:

إن مجموعة المـواد التـي تطلقهـا وسـائط النقـل - المنـشآت الـصناعية والتـي لهـا خواص تفاعلية منخفضة لها القدرة على البقاء وبشكل حر في الهواء الجوي لفـترة طويلـة حتى تترسب بفعل الجاذبية أو تقوم النباتات بامتصاصها وأن المـواد الملوثـة سـواء كانـت غازية أو جزيئات صلبة فعندما تدخل وسط الهواء الجـوي تقـوم بتـأثيرات فيزيائيـة، كيميائيـة. فالتأثير الفيزيائي مثلا ينحصر في تكثف غاز قوي التأكسد في الهواء الرطب مع تـشكيل جزيئـات صلبة، وبالعكس تتناقص الجزيئات السائلة نتيجة التبخر في الهواء الجاف والدافئ. أما الجزئيات الصلبة والسائلة المعلقة بالهواء ممكن أن تتحد مع بعضها وتشكل مركبات تترسب عـلى سـطح الأرض نتيجة زيادة في ثقلها. عدا ذلك تتحلل المواد إلى غازات مختلفة.

التفاعلات المعقدة التركيب والمتحللة، تحقـق الأكـسدة والاختـزال بـين المـواد الغازيـة المختلفة التي تطلقها وسائط النقل والمنشآت الصناعية مـن جهـة والهـواء الجـوي مـن جهـة ثانية. فبعض المواد يبدأ من لحظة دخوله أو ملامسته لـلـهواء الجوي والـبعض الآخـر عنـدما تتهيأ له الظروف المناسبة المساعدة لتفاعل كالأشعة الضوئية وغير ذلك من العوامل.

1- مركب الكربون:

يعتـبر مـن المـواد الأكـثر انتـشاراً، ويرمـى في الهـواء الجـوي نتيجـة عمليـة حـرق الوقـود العـضوي المـستخدم في جميـع مجـالات النـشاط البـشري مثـل وسـائط النقـل المختلفـة والـصناعية المتنوعـة ومـا ترميـه مـن غـازات في الهـواء الجـوي مـن مركبـات مختلفـة مـن الهيدروكربونيـة. مـع العلـم أن كميـة أوكـسيد الكربـون المنطلقـة مـن معدل الآلات الزراعية في مدينة طشقند خلال عـام أي خـلال سـنة واحـدة فقـط 91,79 طن، هـذا المعمـل واحـد وإنتاجـه لـيس كبـير بالمقارنـة مـع المعامـل للـصناعات الثقيلـة

وإنتاجها موجود في جميع القارات. إن ملاحظة مخلفات حرق الوقود ممكن لوقت قصير فقط خلال ساعة أو ليوم لكل من حيث أن المواد ترتفع خلال فترة. ولكن والأخطر من ذلك قد يصل المستوى لهذه المواد السامة الملوثة لحالة حرجة وخطرة جدا، وهذا ما يلاحظ في كثير من المدن الكبرى في الدول المتطورة صناعيا. وأن الجدول (6) يوضح مدى التلوث الذي يخيم على هذه المدن.

الجدول (6)

متوسط التركيز الأساسي للمواد السامة في الهواء الجوي لبعض المدن الأمريكية

متوسط التركيز	CO ملغ/ م^3	CH ملغ/ م^3	NO ملغ/ م^3	NO ملغ/ م^3	So ملغ/ م^3	Ox ملغ/ م^3
1	2	3	4	5	6	7
شيكاغو						
العظمى خلال السنة	7,1	1,9	89	90	310	47
العظمى خلال الشهر	8,2	2,2	130	110	700	68
العظمى خلال الـ 24 ساعة	18,0	3,5	280	190	1340	220
العظمى خلال ساعة واحدة	46,0	8,1	750	340	2300	350
فيلادلفيا						
العظمى خلال السنة	9,9	1,4	60	73	210	45
العظمى خلال الشهر	13,2	1,6	120	100	430	60

العظمى خلال الـ 24 ساعة	27,0	3,1	460	170	940	160
العظمى خلال ساعة واحدة	40,0	6,4	1750	380	2300	410
واشنطن						
العظمى خلال السنة	3,9	1,5	43	88	97	53
العظمى خلال الشهر	7,6	2,0	94	100	250	84
العظمى خلال الـ 24 ساعة	16,0	3,7	380	150	470	200
العظمى خلال ساعة واحدة	31,0	8,8	850	450	1100	490

كمية الشوائب الطبيعية والاصطناعية التي ترمي في الهواء الجوي

المادة الملوثة	كمية الشوائب طن	
	الطبيعة	الاصطناعية
غاز الكربونيك	7.10^{10}	15.10^{10}
أكسيد الكربون	-	$2,0.10^{8}$
غاز الكبريتوز	$1,42.10^{8}$	$7,3.10^{7}$
مركبات أزوتية	$1,4.10^{8}$	$1,5.10^{7}$
أزون	$2,0.10^{9}$	غير ملحوظة

إن المعطيات الموضحة في السابق تؤكد على أن تلوث الهواء هو من إنتاج الإنسان ونشاطاته. مع العلم ويجب الانتباه إلى أن رمي الشوائب من المصادر الطبيعية تتوزع وبشكل طبيعي على جميع سطح القارات والبحار والمحيطات، بينما الشوائب الاصطناعية والتي من فعل الإنسان فإنها ترافقه ولا تذهب بعيدا عنه حيث أنها تتجمع مكان تواجده في المدن والمراكز الصناعية سواء أكانت صغيرة أم كبيرة والتي لا تزيد عن 0,01% من جميع مساحة اليابسة. وينتج مما سبق أن تركيز المواد الملوثة في الهواء الجوي يتركز في المدن الكبرى والمراكز الصناعية أكثر بكثير مما هو عليه في المناطق الأخرى. وعند معرفة الاستهلاك العالمي للفحم والوقود السائل والغازي، وإعادة استخدام الكبريت فمن الممكن تحديد حجم المخلفات التي تلقى في الهواء الجوي. وإن المخلفات التي تلفظ في الوسط المحيط تقدر بملايين الأطنان، حيث يلقى أكثر من 333,9 مليون طن من أكاسيد الكبريت، الأزوت، غاز ثاني أكسيد الكربون وجزيئات صلبة مختلفة الأحجام والتراكيب الكيميائية.

وإن الكمية العظمى التي تلفظ في الهواء الجوي في أمريكا الشمالية أكثر من 122 مليون طن ودول أوروبا الغربية أكثر من 60 مليون طن سنويا أما دول أوروبا الشرقية فإن الكمية لا تقل عن التي تلفظها الدول في القسم الغربي من أوروبا بل تصل حتى الضعف. أما الكمية التي ترمى من المواد الملوثة منفصلة فتكون: الولايات المتحدة الأمريكية 111,1 مليون طن، ألمانيا الاتحادية 17,4، إنكلترا 12,1، اليابان 13,3 مليون طن. إذا فإن الدول المتطورة صناعيا تلقى في الهواء الجوي مجتمعة أكثر من 232,2 مليون طن سنويا من مختلف المواد الملوثة، وهناك الدول التي تقع شرق أوروبا فهي ترمي أكثر من 101,7 مليون طن. ناهيك عن الكميات التي ترميها الدول الأخرى وهي ليست أقل مثل فرنسا، إيطاليا، كندا وغيرها.

ولكن الكمية التي ترمى في الهواء الجوي من مركبات الكربون في العـدد يتـضاعف كل 4- 5 سنة، ولكن تركيزه في السنوات العشر الأخيرة من القرن العشرون غير معروفة.

مع العلم أن ثاني أكسيد الكربون ينتمي إلى الأجزاء الطبيعيـة لـلـهواء الجـوي، إلا أن تركيزه الموضعي ممكن أن يكـون سـام للكائنـات الحيـة. وعـادة مـا يلاحـظ أن الهـواء الجوي في المدن الكبرى والمراكز الصناعية مشبع بالغاز المذكور ولكن بـدون ضرر للإنـسان والحيوانات ذوات الدم الحار وملائم للنبات الذي يحتاجه للتمثيل الكلـوروفيلي ولكـن في الحدود المعقولة.

أما غاز أول أكسيد الكربون يعتبر من الغازات الشديدة السمية للإنسان والحيوان، ولكن عندما يكون بتركيز 1% فهو ضروري لعمليات التمثيل داخل النبات.

إن أول أكسيد الكربون ينتشر بسرعة عند دخولـه الهـواء الجـوي وعـادة لا يكـون تركيزه عالي. ولكن يلاحظ في الأماكن المغلقة، أو عند تجمع أعداد كبيرة من وسائط النقـل وكذلك على مفارق الطرقات في هذه الحالة ممكن أن يكون خطرا على صحة الإنسان.

في البداية اعتبر أن متوسط استمرارية تواجد أول أكسيد الكربون في الهواء الجـوي تتكون 2,5- 4 سنة والمنظم الرئيسي له من حيث تركيزه في الهواء الجوي عـالم المحيطـات. ولكن في الفترة الأخيرة ونتيجة مـا توصـلت لـه الأبحـاث العلميـة بهـذا المجـال، أن وقـت تواجده في الهـواء الحـر يمكـن تحديـده. تقـوم الكائنـات الحيـة المجهريـة بامتـصاص أول أكسيد الكربون وذلك عنـد ملامـسة الـشوائب المتواجـدة في الهـواء الجـوي والمؤكـسدات القوية ($0,0_3$) بروكسيد مركب وأقسام حرة.

2- هيدروكربونيات

تضم أعداد كبيرة من مجموعة المواد الملوثة للـهواء الجـوي والتـي يـدخل معهـا المركبات المشبعة وغير المشبعة، حلقية وغير حلقيـة، تـضم مـن 1- 13 ذرة كربـون. وهـم يتعرضون لمختلف الدورات مثل الأكسدة وغيرها، وذلك في تأثير متبادل مـع بعـض المـواد الملوثة التي تتواجد في الهواء وذلك بفعل أشعة الشمس المساعدة. ونتيجـة هـذا التفاعـل يتـشكل مركـب فـوق الأكـسدة (بروكـسيد)، وتفاعـل حـر مـع مركبـات أكاسـيد الأزوت والكبريت. ويتشكل عند التحليل الضوئي أكاسيد الأزوت.

3- مركب الكبريت

تلفظ مركبات الكبريت في الهواء الجوي بكميات كبـيرة وأنواعهـا مختلفـة الأشـكال (Cs_2, H_2s, So_3, So_2) وسطهم يحتل غاز الكبريتوز والذي ينطلـق نتيجـة القيـام بعمليـة الاحتراق للوقود الصلب أو السائل والذي يدخل عنصر الكبريت ضمن تركيبه الخـام ففـي الولايات المتحدة الأمريكية وعلى سبيل المثال قذف في الهـواء الجـوي مـن غـاز الكبريتـوز فقط في عام 1966- 28,6 وفي عـام 1970- 30 مليـون طـن. ومـن معمـل الآلات الزراعيـة القائم في مدينة طشقند قذف فقط من هذا المعمـل خـلال عـام 1988 مـن ثـاني أكـسيد الكبريت – 5,15 طن، مع العلم أن صادرات هذا المعمل المذكور لا تشكل نقطـة في بحـر حيث أن إنتاجه محدود ولا يمكن مقارنتـه بالمعامـل الكبـيرة في الـدول الـصناعية الأخـرى والتي تغزو بإنتاجها أسواق جميع القارات.

إن المـصدر الرئيـسي للمخلفـات الكبريتيـة تعتـبر مـن نـواتج الاحـتراق للوقـود الصلب وهو الفحم الحجـري. مـنهم دخـل الهـواء الجـوي فقـط عـام 1966 حـوالي 58% غـاز الكبريتـوز، مـن احـتراق الـنفط -9,6% وعنـد تنقيـة الـنفط -7% ومـن صـهر

المعادن أثناء معاملة مواد الخام حوالي -7,5% وهناك مركبات كبريتية أخرى التي ترمي في الهواء الجوي ناتجة عن المؤسسات الصناعية المتخصصة والتي تقوم باستخدام وتحضير أحماض كبريتية، كبريتيد الهيدروجين، ثاني كبريتيد الكربون، وكذلك نواتج حرق بقايا المواد العضوية المتواجدة أو التي تكون مرافقة للمواد الخام.

إن غاز الكبريتوز المتواجد في الهواء الجوي وخلال فترة يتأكسد حتى يصبح الديهيدريد الكبريتي أو يدخل في تأثير متبادل مع مركبات أخرى، ومن ضمنها هيدروكبريتوز (هيدروكبريتات).

وإن غاز الكبريتوز يتم أكسدته وذلك بعد امتصاص الأشعة الشمسية فوق البنفسجية والتي تكون أقصر من 395 نانومتر، مع العظمى عند 285 نانومتر. وإن جزيئات ثاني أكسيد الكبريت تمتصها كم ضوئي، يحدث تهيج وتنظم مع الأكسجين الجوي ومركبات أخرى وأن المراحل الأساسية لهذه التفاعلات موضحة في المعادلات التالية:

$$SO_2 + hv \longrightarrow SO_2^x$$

$$SO_2^x + O_2 \rightleftharpoons SO_4$$

$$SO_4 + ½ \rightleftharpoons SO_3 + O_2$$

$$SO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4$$

البعض يعتبر أن المنتجات الثانوية في تشكيل الديهيدريد الكبريتي ظاهرة الأزوت، وبعد ذلك فورا ينظم الديهيدريد الكبريتوزي.

وإن عملية أكسدة غاز الكبريتوز تحدث ببطـئ في حـال كـون الهـواء جافـا، ولكـن بشكل متسارع تقريبا 0,28% في الساعة، وعند الرطوبـة النـسبية في الهـواء والتـي تكـون أكثر من 50% يتسارع بشكل 1% بالـساعة. أمـا في الظـلام فـلا يحـدث أيـة تأكـسد لثـاني أكسيد الكبريت.

أما في حال تواجد أكاسيد الأزوت في الهواء الجوي فإن عمليـة أكـسدة الديهيدريـد الكبريتوزي تزداد وليس لها علاقة بالرطوبة الجويـة. وعنـد تعـرض أكـسيد الأزوت لأشـعة الشمس فإن ذرات الأوكسجين يمكنها أن تتحول وذلك بالأكسدة من SO_2 إلى SO_3.

إن للضوء الشديد والمستمر تأثير على مخاليط الغـازات ومـن ضـمنها الديهيدريـد الكبريتوزي فخلال 12 ساعة قادر على تحـول 10% إلى الكبريـت وعنـد اسـتمرار العمليـة ولمدة 12 ساعة أخرى في الظلام فإن كمية التحول للغاز المـذكور ازدادت إلى تلـك القيمـة، ويعود السبب في ذلك إلى أن في مقدور الجزيئات الغازية امتصاص الإضاءة فتـساعد عـلى استمرار عملية التفاعل في الظلام، حتى ومع سرعة أقل.

وإن تواجد الكبريت المتحول من الديهيدريد الكبريتوزي بعيـدا عـن اليابـسة عـلى سطح البحار والمحيطات، يرجع للمـواد الملوثـة التـي تطلقهـا البـواخر التجاريـة والـسفن الحربية وناقلات النفط نتيجة حرق الوقود سواء الصلب أو السائل، وتكون سرعة التحـول من SO_2 إلى SO_3 حوالي 0,1- 2%.

عدا ذلك التفاعل الخاص بأكسدة غاز الكبريتوز، فيمكن أن يكون تأثير متبادل مـع المواد الأخرى، فالتفاعل مع الأمونيوم ينتج تشكل كبريتات الأمونيوم.

4- أنهيدريد الكبريتي:

بفعل الخاصية العالية للاسترطاب فإن أنهيدريد الكبريتي بسرعة يتفاعل مع بخار الماء المتواجد في الهواء الجوي ويتحول مع الجزيئات الصلبة إلى حمض كبريت. وإن المركب المذكور بحال تواجد الرطوبة النسبية المنخفضة فهو ممكن ولوقت طويل أن يتواجد في الهواء.

ولكن في حال الرطوبة النسبية العالية فإنه يترسب على السطح. تبدأ جزيئات حمض الكبريت بالتساقط بمجرد خروج غاز العادم بالهواء الجوي حول المنشة الصناعية، وتحتوي السحب المنخفضة على أكاسيد الكبريت بينما تختفي أكاسيد الكبريت بحال الطقس الدافئ والسماء خالية من السحب. وإن التأثير السلبي للمركب المذكور على أوراق النبات النامي القريب وذلك على بعد 1كم من المنشآت، وعادة يحصل وبدون توقف تشكل بقع في أماكن ترسب قطرات حمض الكبريت على سطح أوراق النبات.

5- كبريتيد الهيدروجين وثاني كبريتيد الكربون:

تنتقل المركبات المذكورة مع مركبات أخرى إلى الهواء الجوي نتيجة مختلف العمليات والنشاطات لكن كميتها أقل نسبياً من غاز الكبريتوز. وإن المركبين المذكورين مصدرهما المعامل والمصانع التي تعمل على تحضير وإنتاج القطن الاصطناعي، السكر، الكوك الكيميائي، معامل تقطير النفط وغير ذلك.

إن كبريتيد الهيدروجين وثاني كبريتيد الكربون لهم ميزة واحدة وهي أنهما يتميزان بالقدرة على نشر روائح مهيجة ومواد عالية السمية لكل من الإنسان والحيوان. وعند التأثير المتبادل مع المواد الملوثة المتواجدة في الهواء الجوي فإن مقدرتهم على التأكسد والتحول إلى الديهيدريد الكبريتوزي بطيئة.

6- مركب الأزوت:

تدخل الهواء الجوي بصورة أكاسيد أزوتية ($N_2O_5, N_2O_3, NO_2, NO, N_2O$) و ($NH_3$) وأن المصدر الرئيسي لتلوث الهواء الجوي بالمركبات السابقة الذكر هو ناتج احتراق الوقود، وكذلك المعامل التي تقوم بإنتاج الأسمدة، أكاسيد الأزوت ونترات، مركبات النترات، الحرير السليلوزي، سليلوز.

عادة في الهواء الجوي يوجد خليط من الأكاسيد الأزوتية. هم بالمقارنة سهلة التحول واحد في الأخر بفضل الطاقة الخاصة القليلة لتحلل، تعتبر ميزة أكسيد الأزوت. وعند التعرض للأشعة الشمسية فهم بنشاط يتأكسد أوكسجين الهواء حتى ثاني أكسيد. الحركة القادمة فهي تحول ثاني أكسيد الأزوت بعلاقة مع خواصه يمتص الأشعة فوق البنفسجية ويتفكك إلى أكسيد الأزوت وأكسجين. بداية عملية التفكك الضوئي محفزه لانبعاث حلقة تفاعلية، وذلك لأجل الاشتراك في جميع المواد النامية، وأن المنتجات النهائية، تتشكل في هذه التفاعلات، هي الأزوت.

$$NO_2 + hv > NO + O$$
$$O + O_2 > O_3$$
$$NO + O_2 > NO_3$$
$$NO_3 + O_2 \quad NO_2 + O_3$$

$$3O_2 \qquad 2O_3$$

وإن خلال حلقة تفاعل أكاسيد الأزوت مع الأوكسجين يتشكل جزئين من الأزوت. وإن اختزال جزء ثاني أكسيد الأزوت ممكن أن يتكرر بنشاط وذلك بامتصاص الأشعة الشمسية وتحرر الأوكسجين. لذلك حتى الشوائب غير الملحوظة أو الملموسة من أكاسيد الأزوت في الهواء الجوي ممكن أن تتبخر وبشكل

كافي عدة مرات كمية كبيرة من الأوكسجين والأزوت. وأن تجمع O_3,O في الهواء الجوي يقوم بتنظيم الغازات الشائبة الأخرى في الهواء، ومن ضمنها أكسيد الأزوت، وفي نهاية المطاف يتشكل بخار وجزيئات حمض الأزوت. وهذه التفاعلات ممكن أن نوضحها في الأنواع التالية:

$$NO + O_3 > NO_2 + O_2$$
$$2NO_2 + O_3 > N_2O_5 + O_2$$
$$N_2O_5 + H_2O > 2HNO_3$$

فمن الملاحظ مما سبق أن ذلك التفاعل يؤدي إلى خفض محتويات ثاني أكسيد الأزوت في الهواء، وهذه الدورة تنبه إلى تناقص التشكل الجديد للأزوت. ولأجل المساعدة والاستمرارية في عملية تشكيل O_3,O فمن الضروري أن يقوم الهواء الجوي بامتصاص أكاسيد الأزوت ومنتجاته. وأن التراكم المستمر يوميا لجزيئات أكاسيد الأزوت في الهواء الجوي وعادة يحدث التراكم إلى 8- 12 و18 ساعة ويرافق تركيز أكبر للأزوت. وعندما يصل تركيز الأزوت للمستوى الكافي في الهواء الجوي فمن الممكن اللجوء إلى عملية تنظيم ثاني أكسيد الأزوت مع تشكل بروكسيد وحامض أكسيد الأزوت.

وإن توضح تصور التفاعلات الأساسية والتراكيب، الداخلة في الهواء الجوي من أكاسيد الأزوت تعتبر واحدة من الشروط الأولية لتشكل الأزوت، أكاسيد الأزوت وجزيئات من حمض الأزوت. وكل واحد منهم بشكل منفرد أو مجتمعا يستخدم بشكل مباشر أو وسيط مشترك في أكسدة ملوثات الهواء الجوي.

وأن تشبع الهواء الجوي بأكاسيد الأزوت والذي يعتبر من المركبات ذات السمية الشديدة للكائنات الحية بعدة مرات ويزيد في ذلك تشكل الأكاسيد والبيروكسيد، وقبل كل شيء هيدروكربونات. ومن المركبات الأزوتية الأخرى التي

تقوم بتلوث الهواء الجوي النشادر، ويرجع مصدره إلى المعامل والمصانع التي تقوم بإنتاج الأسمدة الأمونيومية وأحماض الأزوتية.

يقوم النشادر في الهواء الجوي بتنظيم إلى جانب كثير من أحماض الديهيدر، وفي النتيجة يتشكل بالمقابل أملاح أمونيومية – سلفاتية، نيتراتية، كلوريدات وفلوريدات. وإن الأجزاء البلورية ذات الأحجام الصغيرة لهذه الأملاح تعلق في الهواء وبفعل الثقل والجاذبية الأرضية تترسب وتجلس على أسطح النباتات وتصبح وبشكل ملحوظ بلون مسحوق أبيض، ويلاحظ أيضا على أسطح المنازل القريبة.

7- ضباب الكيمياء الضوئية:

يتشكل ضباب الكيمياء الضوئية عند ظروف محددة: التركيز العالي للمواد الملوثة في الهواء الجوي لكل من أكاسيد الأزوت، هيدروكربونات ومواد أخرى، وتكون الأشعة الشمسية قوية الإشعاع مع رياح ضعيفة أو شبه معدومة من حيث الحركة والتي ليس بمقدورها إحداث أي تبديل في طبقة الهواء القريبة من سطح الأرض خلال فترة لا تقل عن يوم مع ارتفاع قليل للتشتت الحراري.

إن الأشعة الشمسية كما ذكرنا سابقاً فهي ضرورية لانبعاث تفاعل كيمياء ضوئي مع الأكاسيد والبروكسيد المتشكل، والاستقرار لطقس بدون رياح، عادة يرافق تشتت شديد لحرارة، ضروري لتشكل تركيز عالي لتنظيم المادة. هذه الحالات ممكن أن تحدث في الصيف.

(حزيران حتى أيلول) وقسم الشتاء.

إن أول ما لوحظ لضباب الكيمياء الضوئية في الثلاثينات من القرن العشرين وذلك في مدينة لوس – أنجلوس الأمريكية. ومن ثم انتشر في دول وقارات أخرى، وحافظ على التسمية نسبيا إلى ضباب لوس – أنجلوس وفي مكونات ضباب

الكيمياء الضوئية قد لوحظ كثير من الغازات المختلفة، بالإضافة إلى المؤكسدات: أزون، مختلف بروكسيدات هيدروكربونات ونتراتيات ونتريتيات. وإن الكمية العظمى لمكونات الأزون في الهواء تلاحظ عادة من الساعة 10- 11 صيفا، 13- 14 شتاء، وبشدة تنخفض ليلا. وفي أول تجربة كان قد استخدم مخلوط من هيدروكربونات وأكاسيد الأزوت في غرفة تحتوي على نبات فلم يلاحظ عليه أية أضرار تذكر ولكن وبعد التعرض للإضاءة أو إضافة الأزون لأوراق نفس النوع من النبات قد ظهر التضرر، مثلما في الظروف الطبيعية وتحت تأثير الضباب. وإن تحول أكاسيد الكربون، الكبريت والأزون في الهواء الحر مع تشكل أكاسيد عالية الترتيب، فإن التحول القادم يكون بعلاقة مع الاشتراك بالهيدروكربونات المتواجدة أو المنطلقة في مكونات الغازات العادمة لوسائط النقل، وتشكل بيروكسيدات عضوية، الديهيدريد، كيتونات، أحماض، فينول، وغير ذلك. وعند التأثير المتبادل لهيدروكربونات مع الأزوت يتشكل في البداية أزوتين الذي يعتبر مركب غير ثابت وينحل أو يتحول إلى الديهيدريد أو كيتونات.

$$RC = CR + O_3 > RCO_3CR$$
$$RCO_3CR > RCO + RCOO$$

R- شق من هيدروكربونات – ميثيل CH وأثيل – CH_3CH_2. وأن شق من الهيدروكربونات القادر على التأثير والتبادل وتشكيل بيروكسيد، ويدخل في تفاعل أيضاً مع أكسيد الأزوت ويشكل مجموعة مركبات جديدة – نتراتيات، نتريتات وما يشابه. وإن التفاعل بين شق من بيروكسيد هيدروكربونات وثاني أكسيد الأزوت موضح في المعادلة التالية:

$$RC(=O) - O - O + NO_2 \longrightarrow RC(=O) - O - O - NO_2$$

R ميثيـل يتـشكل بيروكـسيد أسـتيلين نيـترات (BAN) إيثيـل يعطـي بيروكـسيد بروبيلين نترات (BBN)، بيروبيلين – بيروكسيد بيوتيلين نترات (BPN).

وفي التشكيل الطبيعي لضباب الكيمياء الضوئية يتميز بيروكسيد إستيلين نترات (BAN)، وفي 10 مرات أقل من مكونات بروكسيد بروبيلين نترات (BBN)، وعادة لا يوجد (BPN).

وإن (BAN) مركب لا ينحل في الماء وإن خفـض تركيـزه في الهـواء الجـوي يحـدث بعد ذلك انحلال عند الهيدروكسيدات.

$$\overset{O}{\overset{||}{CH_3COONO_2}} + 2OH \quad > \quad \overset{O}{\overset{||}{CH_3CO}} + OONO_2 + H_2O$$

والأوكسيدات الضوئية الملوثـة لـلـهواء، المتـشكلة مـن الأدهنـة، تعمـل أو تـشكل روائح مهيجة، مسيلة للدموع، الخانقة، الحاجبة للأنظار، والمـسببة مـوت الحيوانـات عـن طريق التنفس، وتحطم مواد البناء الحجرية والمعدنية، اللوحات، المصنوعات الاصـطناعية ودهانات السيارات. فمثلا بيروكسيد بينزول نترات يتميز بقوة مهيجة التأثير، حيث تسبب سيلان الدموع في 200 مرة أكثر من فور مالدهيد، وفي 100 مرة أخرى مـن (BAN). وقـد لوحظ أول تضرر لنباتات من جراء التأثير بالضباب الكيمياء الضوئية ولأول مرة عام 1940 وكان انتشار التأثير لعـشرات الكيلـومترات. وإن البيروكـسيدات الـضوئية شـديدة الـسمية للنبات ويمكن تصنيفها حسب درجة السمية كالأتي: BAN, BBN, BPN وعند تواجـدهم بحالة خليط فإن درجة السمية تزداد.

وفي اخــتلاف الأزون عــن المؤكــسدات أخــرى، فــإن محتويــات الأزون في الهــواء غير ثابتة وتنخفض بالتدريج حتى الصفر مع غياب الشمس. وإن BAN مماثل لـه حيـث البروكــسيد المــذكور يحــافظ عــلى تواجــده في هــواء الطقــس ذو الريــاح الــساكنة،

في هذه الحالة فإنه يتجمع ويزداد مستوى تلوثه لـلـهواء. وإن ضـباب الكيميـاء الـضوئية قد سجل في الوقت الحاضر في كثير من المـدن الكـبرى في العـالم مثـل نيويـورك، شـيكاغو، بوستن، طوكيو، باريس، روما، ميلانو، ميلان ومدن أخرى.

وفي مدن الاتحاد السوفياتي السابق والتي تعرف حاليا برابطة الدول المـستقلة فـإن ضباب الكيمياء الضوئية يلاحظ عادة لوقت قصير في المـدن الجنوبيـة والتـي تتميـز بأيـام صيف ذات حرارة مرتفعة، وهذا عامل مساعد للمـستوى العـالي لتـشبع الهـواء بالغـازات العادمة المنطلقة من وسائط النقل وكذلك بالمواد الكيميائية النفطية، والمواد الناتجة مـن تكرير النفط وبعض المنشآت الأخرى، وقد لوحظ تشكيل تركيز عالي من الأكاسيد الضوئية في إيرفان عام 1974. وإن مكونات الأزون تزداد في الهواء الجوي في مدينة موسـكو خـلال أيام الصيف ولبضعة أيام، وغير صحيح إطلاقا أن مستوى تلوث الهواء لم يصل إلى المستوى مثلما في المدن الكبرى في العالم ولكن لعدم توفر المعلومات جعلنا نكتفي بذلك.

8- مركبات الفلور:

يعتبر انتشاره واحد مـن أكـثر المـواد الـسامة للنباتـات والكائنـات الحيـة الأخـرى. ويتميز بخواصه العالية التفاعل في مكونات الهواء الجوي، وهو يـدخل في مختلـف أنـواع المركبـات الغازيـة: فلوريـك الهيـدروجين (HF)، سيليـسيوم ربـاعي الفلوريـك (SiF_4) أو جزيئات أنواع من الغبار NaF, CaF_2.

وإن المصدر الرئيسي لتلوث الهواء بمركبات الفلور تعتـبر المعامـل والمـصانع التي تعمل على إنتاج المونيوم، الأسمدة الفوسفورية، السيراميك، الزجاج، الفـولاذ، حـرق الفحـم. وإن مختلـف الغـازات مركبـات الفلـور الـصلبة قـادرة الـدخول في تأثير متبـادل مـع كثـير مـن مجموعـات شـوائب الهـواء الجـوي، وتـشكيل أمـلاح ومركبات أخرى. وعند انحلاله في الماء مثلا يـشكل سلـسلة متـشابكة مـن حمـض

الفلوريك، ملح فلوريدات الأمونيوم. وكذلك مع مواد أخرى ومن ضمنهم هيدروكربونات.

إن مركبات الفلوريك تتجمع بقوة في أوراق النباتات وتسبب لها أضرار، وعند تقديم النباتات كغذاء للحيوانات تسبب لها الإصابة ببعض الأمراض.

9- مركبات الكلور

ينطلق من مصادر كثيرة إلى الهواء الجوي، ولكن الكمية الأكثر من المعامل والمصانع الكيميائية التي تنتج أملاح حمضية والمبيدات الحشرية التي تحتوي على الكلور، الصبغات العضوية، تحليل الكحول، الكلس الكلوري، الصودا. ويصادف الكلور في الهواء الجوي بصورة أنواع مختلفة التركيب وأن سمية الكلور لنباتات تتوقف على نوعية المركب وتركيزاته إن شكل تلوث الهواء بالغازات له اختلافات كبيرة ومتنوعة التركيب الكيميائي وكذلك التركيز، وإن تحديد كمية ومقدرة التأثير تحددها مصادر التلوث سواء صناعية (معامل – مصانع)، أو وسائط النقل المختلفة وكذلك أيضاً عوامل الصحة للمنطقة، والخطوات المتخدة لإعادة التركيز وتشكل ضباب الكيمياء الضوئية.

10- الجزيئات الصلبة

الجزيئات الصلبة المنتشرة والمعلقة بالهواء، تعتبر من المواد الخطيرة للكائنات الحية، وتسبب لها أضرار وأمراض خاصة بالنبات والإنسان. وإن مصادرها يأتي في الأساس من محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل على حرق الفحم الحجري العالي الاحتواء من حيث نسبة الرماد، ومصانع التعدين، الإسمنت، المغنيسيوم المتبلور.

تتشكل الجزيئات الصلبة أحيانا عند التأثير المتبادل للغازات مع بعضها البعض أو مع بخار الماء. وتتميز الجزيئات الصلبة المعلقة بالهواء باختلاف مكوناتها

الكيميائية. وغالبا ما يدخل في تركيب مكوناتها السيليكون، الكالسيوم، الكربون (فحم غير كامل الاحتراق، سخام) مواد قطرانية، وغالبا أكاسيد معدنية: حديد، مغنيزيوم، منغنيز، توتياء، نحاس، نيكل، رصاص، أنيتمون، بزموث، سيلينيوم، زرنيخ، بريليوم، كادميوم، كلور، كوبالت، موليبدنيوم وأيضا غبار مكون من حرير صخري، مبيدات حشرية. وكذلك قسم كبير من غبار عضوي مثل هيدروكربونات عطرية، ملح، حمض وكذلك نتيجة حرق بقايا منتجات نفطية، ومن نواتج تقطير النفط وكذلك أيضا من المنشآت الصناعية البتروكيميائية والبلاستيكية.

ومن حيث حجم الأجزاء الصلبة المكونة لأنواع الغبار ضمنها ذو القياس الكبير الحجم – أكثر من 40 ميكرون والمتوسط والذي يتراوح أحجامه من 1- 40 ميكرون أما الأصغر فيكون أقل من 1 ميكرون.

وإن الكميات الكبيرة التي ترمى في الهواء الجوي من حيث الأجسام الصلبة فمصدرها في الأساس معامل الإسمنت والأفران التي تقوم بحرق الفحم وإن جزيئاتها الصلبة ذات قياس أقل من 5 ميكرون. وهي تكون نسبة حوالي 0.5- 3% وعند تحطيم أو تكسير المواد الخام 20% وعند التسخين أو الشوي الكهربائي مع كربيدات الكالسيوم 68% وإن مقاييس الأجزاء الصلبة غالبا ما تحددها سرعة الترسب على سطح الأرض أو النباتات. وهذا ففي الهواء الجوي ذو الحركة الضعيفة والشبيه بالسكون فإن الجزيئات الصلبة والتي أقطارها 0.5 ميكرون فهي تترسب أو تجلس بسرعة 0,0007 سم/ ثا، أما الجزيئات الصلبة والتي قطرها 6 ميكرون فسرعتها تكون – 0,003 سم/ ثا، أما الجزيئات والتي قطرها 5 ميكرون فسرعتها – 0,07 سم/ ثا أما ذات أقطارها 10 ميكرون – 0,3 سم/ ثا وذات أقطارها 50 ميكرون – 100,7 ميكرون – 30 والتي قطرها 200 ميكرون – 120 سم/ ثا. وبالمقابل فإن الكمية الأكثر من الجزيئات الصلبة تترسب بالقرب من المصدر الذي يرمي بها وبشدة تتناقص كلما ازداد البعد عن المصدر. أما على

أوراق الأشجار النامية على بعد بين 0,5- 4,6 كم من مـصدر أو منـشأ الغبـار، فـإن كميـة الغبار المترسبة والتي تتوقف على حسب أحجامها فإن الجزيئات الصلبة من الغبار والتـي هي أكبر من 10 ميكرون تتناقص من 33,6 إلى 10,5%، والجزيئات التي أحجامهـا بـين 5- 10 ميكـرون تتنـاقص مـن 25,7 إلى 12,1%، والتـي أحجامهـا مـن 1- 5 ميكـرون فإنهـا بـالعكس تـزداد مـن 20,6 إلى 52,2%، ولكـن كميـة الجزيئـات ذات القيـاس أقـل مـن 1 ميكرون تقريبا لا تتغير.

إن الجزيئات الصلبة الملوثة تسبب وتساهم إلى حد كبير في تبعثر الأشعة الشمسية في الهواء.

والدور الكبير والقوي لهذه العملية تقوم به جزيئات الغبار والتي أقطارهـا تـتراوح بين -0,4 0,3 ميكرون فهي تساهم في خفض 20 مرة من الجزيئات الصلبة والتي قطرها 5 ميكـرون وفي 6 مـرات الجزيئـات التـي قطرهـا 0,1 ميكـرون مـن حيـث قـوة الـشمس. وللمقارنة بين صفات الجزيئات الصلبة الطبيعية المصدر والصناعية والمسببة للغبار الحالي في الهواء الجوي، فيما يلي بيان عن المصادر التـي تقـوم بتكـوين الغبـار في الهـواء الجـوي والتي مقاييسها أقل من 20 ميكرون ومقدرة في ملايين الأطنان:

الجزيئات الطبيعية المصدر	الحجم أقل من 20 ميكرون – مليون طن
جزيئات الأتربة	100- 500
حرائق الغابات – وبقايا زراعية	3- 150
أملاح بحرية	300
جزيئات من مقذوفات البراكين	20- 150
جزيئات متشكلة جديدا من غازات كبريتاتيات من H_2S	130- 200
أملاح أمونيا من NH_3	80- 270
نترايتات من NO_X	60- 430
هيدروكربونات أصلها نباتي	75- 200
المجموع	770- 2200
الجزيئات صناعية المصدر	
رمي مباشر للجزيئات	10- 90
جزيئات حديثة التشكيل في الهواء	
ناتجة من الغازات الملوثة	
كبرتماتيات من SO_2	130- 200
نتراتيات من NO_X	30- 35
مركبات هيدروكربونات	15- 90
المجموع	185- 415
مجموع الجزيئات بمصدرها	960- 2615

فإن المعطيات التي سبقت تبين تلوث الهواء الجوي بالجزيئات الصلبة من الجزيئات صناعية المصدر أقل في 5 مرات مما هو عليه من طبيعة المصدر. وأن الكمية الإجمالية للجزيئات الصلبة المتواجدة في الهواء الجوي بمصدريها الطبيعي والصناعي فإنها أكثر من النصف محتوياتها ناتجة عن تفاعلات كيميائية لمختلف الغازات بين بعضها البعض وبخار الماء. وأن عنصر الكبريت يحتل المركز الأوسط.

إن القيمة البيولوجية لجزيئات الصلبة وضررها تحدده درجة سميتها وتركيزها ليس في الهواء بشكل عام، ولكن وفي المساحة التي تحتلها، وقبل كل شيء بالطبقة الجوية من الهواء حول الأرض.

الانتشار الواسع الخطر من جراء التلوث بجزيئات الصلبة من مصدريها المختلفين، فإن وسائط النقل على اختلاف أنواعها تقوم بالإضافة لذلك برمي الغازات العادمة الغنية بمركبات الرصاص، السخام وأخرى من هيدروكربونات صلبة لا يستهان بها. وأن الجزيئات الصلبة من مركب الرصاص المنطلق مع الغازات العادمة لوسائط النقل في حالة إضافتها إلى البنزين بصورة مادة مساعدة للاحتراق مثل إثيل الرصاص. فعند الاحتراق مثل هذا الوقود فإن 98% من محتوياته الرصاص تتطلق في الهواء الجوي بأنواع جزيئات صلبة مؤكسدة أو هالوجينات ملحية. ولحساب الكمية الإجمالية للرصاص والتي تنطلق مع الغازات العادمة للسيارات والتي ترميها في الهواء الجوي فخلال سنة واحدة أكثر من (250 ألف طن). فإن هذه الكمية من الجزيئات الصلبة للعنصر المذكور فقط ممكن أن تكون غير ملحوظة لسطح اليابسة، وعند حساب أن المدن تحتل فقط 0,01 من المساحة، فهذا يعني أن حالة التلوث يكون بتركيز ملحوظ من حيث غبار جزيئات الرصاص. وأن وسائط النقل والمقصود هنا السيارات حيث تقوم برمي 50- 80% من جزيئات الرصاص في الهواء وقياسها أقل من 6 ميكرون. وأن الجزيئات الكبيرة التي تترسب أو تتوضع على جانبي الطريق أو بالقرب منه، فأما أن تكون ذات

الحجم الأقل ففي هذه الحالة تقوم التيارات الهوائية بحملها والقذف بها إلى مسافات أبعد. وإن تركيز غبار الرصاص في الهواء الجوي للمدن ومن حولها تحدده حركة السيارات وشدتها وسرعتها وكثافتها وكذلك اتجاه الرياح. فمثلاً مدينة روما فإن متوسط تركيز جزيئات الغبار من الرصاص حوالي 4,5 وحول المدينة 4 ملغ/ م^3 وإن متوسط كمية الرصاص في الهواء تتخفض لتصل إلى 8 ملغ/ م^3 عندما تصل إلى 65 سيارة/ دقيقة. وعندما تكون الرياح وشدتها وسرعتها وكثافتها وكذلك اتجاه الرياح. فمثلاً مدينة روما فإن متوسط تركيز جزيئات الغبار من الرصاص حوالي 4,5 وحول المدينة 4 ملغ/ م^3 وإن متوسط كمية الرصاص في الهواء تنخفض لتصل إلى 2 ملغ/ م^3 عندما تكون حركة السيارات 15 سيارة/ دقيقة، وتزداد كمية الرصاص لتصل إلى 8 ملغ/ م^3 عندما تصل إلى 65 سيارة/ دقيقة وعندما تكون الرياح وشدتها أكثر من 2م/ ثا فإن محتوى الرصاص يكون منخفض وعندما تقل سرعة الرياح أقل من 2م/ ثا ترتفع محتويات الرصاص نسبيا. وأن الحرارة والرطوبة لا يظهران أية تأثير على تركيز الرصاص، أما من حيث الارتفاع فإن كمية الرصاص على ارتفاع 1,5م فكان أقل من ثلاث مرات مما هو عليه على ارتفاع 0,5. وإن جزيئات الرصاص المنطقة من السيارات مع غازاتها العادمة فإنها تترسب على سطح النباتات القريبة من الطريق، وقد تكون في 5- 20، 5- 200 وحتى 100- 200 مرة أعلى من مستوى جزيئات الرصاص في المناطق الزراعية والبساتين البعيدة، سواء كانت عشبية أو شجرية.

مع العلم أن محتويات الرصاص على الغطاء النباتي تتناقص بسرعة كلما ازداد البعد عن الطريق، وعن المصدر الأساسي لتلوث بجزيئات الرصاص والتي تعتبر محركات الاحتراق الداخلي وخاصة التي تعمل على البنزين الحاوي على الرصاص.

ففي نيويورك فإن المتوسط اليومي لتركيز الرصاص في الهواء الجوي أعلى من 7,5 ملغ/ م^3. وإن تركز جزيئات العنصر المذكور تتزايد بدأ من الساعة السادسة حتى تصل لأعلى تركيز الساعة الثانية عشرة ومن ثم تنخفض لتصل لأدنى مستوى لها الساعة عشرون. وأن مكونات جزيئات الرصاص في الهواء تتبعثر بشدة خلال اليوم تبعاً مع المكونات أكسيد الكربون الذي ينطلق من السيارات في الهواء وفي مدينة مكسيكو فإن تركيز غاز الكبريتوز في الهواء للمناطق الصناعية وصل إلى 737,3 ملغ/ م^3، والجزيئات الصلبة 894 ملغ/ م^3 وأن سرعة الترسب خلال يوم واحد فقط 85 ملغ/ م^2. وهذا كله من نواتج عمليات الاحتكاك للمعادن، واهترائها، وكذلك مخلفات تكرير النفط، منتجات الدهانات الصناعية ومصادر أخرى كبخار الزيوت وهيدروكربونات متراكمة على الجزيئات الصلبة.

مما سبق ممكن الاستنتاج أن المنشآت الصناعية من (معامل ومصانع) ووسائط النقل المختلفة جميعها تقوم برمي في الهواء الجوي كميات هائلة من مختلف أنواع الغازات والجزيئات الصلبة ذات التركيب الكيميائي المعقد. وهي ذات تأثير سلبي سواء كانت كميتها كبيرة أو قليلة على الإنسان والكائنات الحية النباتية أو الحيوانية. فهي تلوث الهواء بالمواد ذات التأثير المتبادل بين بعضها البعض ومكونات الهواء بشكل دائم. وإن الجزيئات الصلبة سواء التي تلفظها وسائط النقل والمصادر الصناعية الأخرى فهي تعمل وبشكل دائم على ردائة الهواء الجوي وظروف الحياة للإنسان والحيوان والنبات وحتى للكائنات الحية الدقيقة.

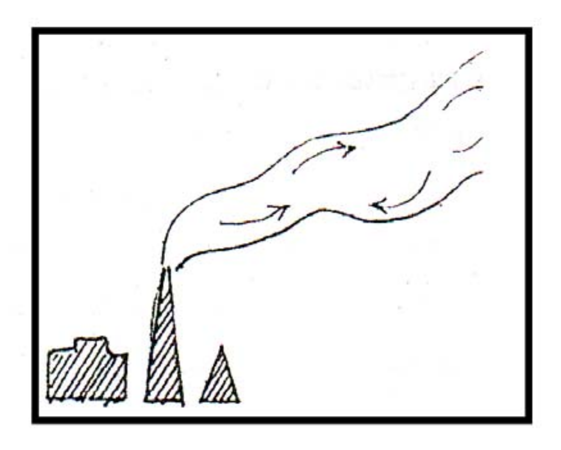
4- انتشار المواد الملوثة في الهواء الجوي:

يتوقف مستوى تلوث الهواء الجوي من جهة على حجم المواد التي تلفظها وسائط النقل والمصانع والمعامل والمصادر الأخرى خلال وقت وشدة انتشار

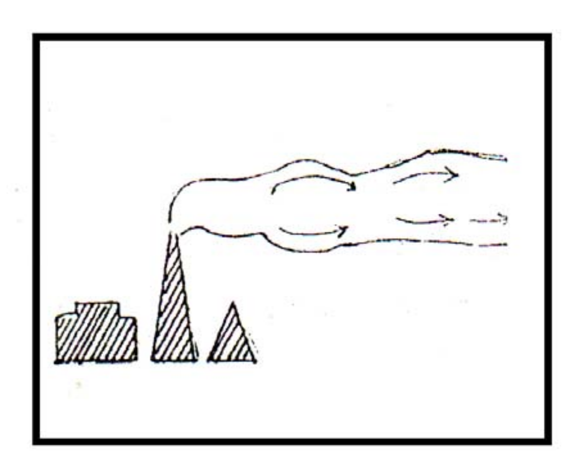
واحـدة، ومـن جهـة أخـرى عـلى سرعـة اللفـظ في الهـواء الجـوي مـع العوامـل الطبيعيـة المساعدة. وأن عملية حصر عدد المصادر التي تقوم بلفظ المـواد الملوثـة لمدينـة أو منطقـة غـير دقيق، ويعود السبب في ذلك للزمن الذي يتم فيه تنفيذ عملية الحصر فقد تكون أدنى مستوى، وأحيانا في يوم آخر – تصل عملية اللفـظ للمـواد الملوثـة في الهـواء الجـوي إلى مـستوى أخطـر، والأخطر من ذلك هو مدى الاسـتمرارية للحالـة الأخـيرة وأيـضا مـدى اسـتمرارية بقـاء الحـرارة مرتفعة. أن الغازات والأدخنة التـي تقـذف إلى الهـواء الجـوي حيـث في لحظـة دخولهـا الهـواء تتخلط مع التيارات الهوائية، وكذلك بعض الغازات مثل SO_2, CO_2 والجزيئات الصلبة للمعادن الثقيلة تختلط أيضا في الهواء وأن الحركات الاضطرابية العموديـة والأفقيـة لـلـهواء تعمـل عـلى أحدث عملية خلط دائمة بعلاقة مع الحرارة، المقطع وصفات السطح الملامس. أن اتجاه وسرعـة الرياح المؤثرة تتجمع على سطح الأرض من حرارة ظروف موضوعية للمكان ومقطعة. ويحـدث هذا الأثر بوقت واحد ليس أفقيا وإنما عموديا أيضا الذي يقوم في عملية خلـط الكتلـة الهوائيـة وما تحمله من مواد ملوثة. يناظر توزع حرارة الهواء مع رفع مـن سـطح الأرض اخـتلاف بعـدم الاستقرار، وبدون اختلاف وثبات حالة الهواء الجوي. عند عدم الاستقرار لحالة الهواء الجوي فإن التيارات الهوائية تسخن مع الغـازات والأدخنـة المنطلقـة فترتفـع بـشكل رأسي وعنـد الريـاح – تنحي أو تميل للأعلى أنظر الشكل رقم (2).

ولكن عند الرياح القوية والرأسية الاتجـاه تقـوم الريـاح بخلـط المـواد الملوثـة المنطلقة من فتحـة أو مخـرج غـازات العادمـة بـالهواء وتتجـه باتجـاه أفقـي لـلأرض وتشكل أدخنة كبيرة في الهواء. وعند عدم تحديد حالـة الهـواء الجـوي يكـون الخلـط رأسي في الهواء الضعيف وتنتـشر غـازات الأدخنـة عـلى سـطح الأرض في شـكل توسـع تدريجي من مخرج الغازات أنظر الشكل (3). وفي حالـة ثبـات حركـة الهـواء الجـوي فإنه يعمـل عـلى انخفـاض ملحـوظ، ويحـافظ بـشكل ثابـت أو حتـى زيـادة ارتفـاع

حرارة الهواء الجوي بالمقطع الأفقي. فهذه الحالة تتوقف عند عدم وجود رياح وقليلة.



الشكل (2) انتشار الأدخنة عند حركة الهواء الاضطرابية الرأسية المحددة



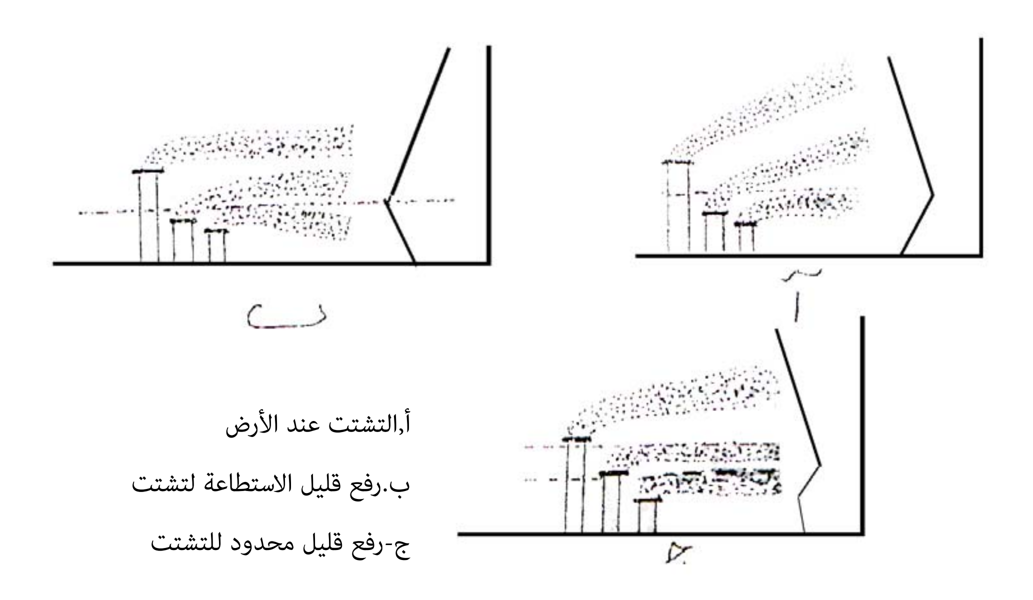
الشكل (3) انتشار الأدخنة في الهواء الجوي عند الرياح الضعيفة.

أو خالية من الغيوم. ويحدث الانتشار بقوة ليلا عندما تنخفض حرارة سطح الأرض نتيجـة الإشـعاع العكـسي لـدفئ الأرض إلى الـسماء، حيـث تنتـشر الغـازات والأدخنـة إلى الطبقات المجاورة ومن ثم إلى الطبقات العليا من الهواء الجوي.

ويناظر سرعة واستمرارية الإشعاع التبريدي إلى تخلخل خواص الهواء الجوي وذلـك بانخفاض الحرارة من الأعلى. وأن الكتلة الباردة من الهواء تكون أكثر ثقلا وتحـافظ سـطح الأرض. ولا يمكن حدوث أية تغير إلا في حالة الهواء الأكثر دفئاً. وتغير حرارة المقطع الأفقي تؤدي إلى رفع الحرارة عن سطح الأرض. ويحدث هـذا بـدخول مـواد ملوثـة جديـدة مـن مصادرها المختلفة المنتشرة على سطح الأرض أنظر الشكل (4).

لـيلا يـستمر الإشـعاع العكـسي فيـبرد سـطح الأرض وكـذلك حـرارة الهـواء وتـصل لأعظمية الهبوط قبل بزوغ الشمس. في البداية تقوم أشعة الشمس بتسخين سـطح الأرض ومن ثم طبقة الهواء المجاورة تبدأ بحمل رأسي للحرارة، تسبب تحطيم أو خلخلة الطبقـة العلوية.

الشكل رقم (4) انتشار الأدخنة عند التشتت الحراري ومخارج مختلفة



يحدث عادة هذا بين الساعة (9- 10). حيث تقوم التيارات الهوائية بحمل من على سطح الأرض الكتل الهوائية للأعلى والتي فقدت حرارتها خلال فترة الليل ومن معها من مواد ملوثة مختلفة. مما يؤدي إلى زيادة حجم المواد الملوثة حول سطح الأرض.

إن التوزع النسبي لتركيز المواد الملوثة في الهواء الجوي خلال اليوم عند سطح الأرض فمثلا لمدينة نيويورك في الأيام التي حرارتها مرتفعة يحدث الأعظمي في الساعة (9- 10) يكون 100%. بعد ذلك ينخفض حتى 60- 70% ويحافظ على هذا المستوى حتى الساعة (22)، أما في الساعة (4- 5) يكون حوالي 40%.

وعندما تكون السماء مغطاة بالغيوم فإن وصول وانتشار الأشعة الشمسية إلى سطح الأرض منخفض، عند ذلك تكون الاضطرابات الرأسية للتيارات الهوائية ضعيفة. ففي هذه الحالة تقوم الغازات المنطلقة من فوهة العادم بالانتقال بواسطة الرياح بشكل موازي لسطح الأرض أو ترتفع قليلا إلى طبقة السحب الأساسية وتتوزع هناك.

إن السحب المنخفضة والضباب يعملان كعائق أمام توزع وانتشار المواد الملوثة في الهواء الجوي ويشبه ذلك إلى زيادة الهواء الملوث عند سطح الأرض. وهكذا فإن ارتفاع أو زيادة الملوثات في الطبقة القريبة من سطح الأرض يحدث عند الهدوء المطلق للهواء، السحب المنخفضة والضباب، وأيضا عند الحركة الاضطرابية الرأسية الشديدة.

وإن توزع الغازات المختلفة ومخاليط الجزئيات الصلبة في المقطع الرأسي فوق المدن أو المناطق الصناعية يتغير من حيث الوقت وصفات تبدل الهواء. ومن المعروف أن المخاليط بالهواء الملوث تتركز في الأساس بطبقة هواء سماكتها أو ارتفاعها تصل 1- 2كم. وكمية غير ملحوظة من المخاليط الملوثة تتسرب إلى ارتفاع أكثر. وأن توزع المخاليط بالمقطع الرأسي للهواء تحدده في الأساس الحرارة، وهي تعتبر شرط ضروري لتشكل ضباب الكيمياء الضوئية، تزيد من تركيز الأزون، هيدروكربونات وأكاسيد أزوتية، أكثر ما هو لعدة مرات على ارتفاع 300- 1200م مما على سطح الأرض.

النظم الريحية واضطراباتها تحدد مستقبل توزع وانتشار القذف من المصدر. فعند ضعف الحمل الرأسي للغازات المنطلقة من فوهة العادم تتوزع أو تنتشر إلى 20- 30، وفي حالات منفصلة قد لوحظ في إنكلترا حتى 300كم. وينتج عن ذلك زيادة تلوث الهواء ويمكن أن يعمل ليست فقط لمدينة أو قرب المؤسسة

الصناعية، ولكن إلى مسافات بعيدة عن المصدر. ففي إنكلترا مثلا قد لوحظ الترسيب لجزيئات من مركب الكبريت على المناطق الزراعية قادمة من مصادر موجودة في المنطقة وقيمتها تزيد ليست أقل من 3 مرة من الترسب على المناطق الزراعية في السويد.

ولخفض تلوث الهواء بالمخلفات التي تقذفها المؤسسات الصناعية تستخدم طرق أبعادها مع أحداث تغيرات ملموسة في ميكانيكية تواجدها وإخراجها حيث أن التنقية الكيميائية للمخلفات تنحصر في إمساك الغازات السامة أثناء أو في طريق خروجها وذلك باستخدام طريقة الامتصاص بواسطة سائل ومواد صلبة، محفزات التحول أو قبل الاحتراق في الأفران. في هذا الشكل يستبعد 60- 80% من الغازات السامة. الطرق الفيزيائية تستخدم لترسيب الشوائب الصلبة والسائلة – جزيئات الغبار، قطرات الضباب. في هذا المجال ولذلك الهدف يستخدم مختلف الأجهزة والتي تعمل على مبدأ التصفية عبر مادة مسامية حاجزة، تنقي أو مصفاة صغيرة المخارج، فتترسب المعادن كهربائيا. وأن فعالية أبعاد الغبار تصل 90- 99%. في الهواء الجوي يدخل الغبار الذي لا يمكن أن تمسكه المصفاة ويعتبر أكثر خطرا لصحة الناس ويبقى في الهواء كمواد ملوثة لفترة طويلة من الزمن.

إن المشكلة في المسك أو الالتقاط الكامل للغازات والجزيئات المنطلقة من التجهيزات المستخدمة مثلا للمشاريع الصناعية النووية. ولكن لزيادة فعالية أو التنقية الكاملة للغازات والأنواع المختلفة من الغبار فمن الضروري إضافة ملحوظة للنفقات المادية والتي تؤدي إلى طريق جديد في خفض التلوث في الطبقة الهوائية حول الأرض مع طرق اقتصادية مناسبة. حيث واحد منهم تنحصر في بناء مهام مخارج عالية للملوثات.

فعند المخرج الذي ارتفاعه 250- 300م ورياح سرعتها 4م/ ثا فيكون تركيز الغازات المنطلقة في الطبقة القريبة من سطح الأرض منخفض في 3- 4 مرة ويتبع ذلك أكثر شدة في عملية خلط الغازات مع أكبر حجم من الهواء، أكثر من المخرج الذي ارتفاعه 100م.

مع العلم أن بناء مدخنة ارتفاعها 300م فهي تحتاج إلى 7 مرات من النفقات ما تحتاجه مدخنة 100م. عدا ذلك فإن المداخن بذلك الارتفاع لا تؤمن خفض تركيز الغازات أو الأدخنة التي ترمي في الهواء الهدوء المطلق للأحوال الجوية. وهذا مهم جدا للمناطق التي تتميز بمناخ قاري شديد وأن بناء المداخن المرتفعة تعطي فعالية إيجابية فقط عند الحالات التي يتميز بها الطقس بوجود حالة إعصار مضاد مع عدم ثبات الهواء الجوي. في هذه الحالات فإن الغازات الضارة والجزيئات الصلبة تنتشر بشدة. فكلما ابتعدت عن مصدر الرمي مع مستوى أعظمى فلتلوث يهبط بطبقة الهواء القريبة من سطح الأرض وكذلك تنخفض قيمة تركيز المواد السامة لذلك فمن الضروري حساب الارتفاع المناسب للمداخن التي من خلالها تقذف المخلفات السامة، حيث من الضروري من خلالها أن تؤمن نشر المواد أو استخدام أجهزة تنقية وذلك لإمساك الغازات السامة وجزيئات الغبار الضارة قبل انطلاقها في الهواء الجوي.

الفصل الثاني

التلوث الجوي وتأثيره على النظم الطبيعية

التلوث الجوي وتأثيره على النظم البيئية الطبيعية

تؤدي مختلف أنواع ومقاييس عوامل تأثير الهواء الجوي على مختلف مستويات تنظيم النظم البيئية إلى ما يلي:

1. تجمع المواد الملوثة في مختلف أعضاء النبات والأجهزة الأخرى التابعة للنظام البيئي وذلك من (تربة، مسطحات مائية، مياه جوفية).
2. نتيجة تراكم المواد الملوثة إلى إحداث أضرار بالمستهلكين.
3. حدوث تغير في تعدد الأشكال والأنواع مشروطة بظروف المزاحمة والمنافسة.
4. تحطم الحلقة البيوكيميائية.
5. تحطم الاستقرار واختزال القدرة الاستقلالية في التنظيم.
6. تحطم التأثير المتبادل في النظم البيئية.
7. ازدياد رقعة المناطق الصحراوية.

في الوقت الحاضر لم يتوفر العدد الكافي والجدي من الأبحاث التي تتناول وتعالج المشاكل التي سبق التطرق إليها وذكرها من جراء ما يسببه عامل التلوث على مجموعة النظم البيئية بشكل متكامل. ولكن هناك بعض من الأبحاث قد أظهرت الأضرار النهائية نتيجة الكوارث التي تسببت من جراء التلوث العالمي والكبير للبيئة. إن التحول في حالة الوسط المحيط تحت تأثير تلوث الهواء الجوي من وضع لآخر ممكن أن يحدث بشكل بطيء. ولكن ممكن إيجاد مناطق يحدث فيها تلوث الهواء خلال 100- 200 سنة لكن على أرضها تحتوي على نظام بيئي عالي التنظيم، مما يؤدي لإحداث ثبات نسبي للأنواع النباتية التي تتميز بنتاجية عالية.

تلوث الهواء الجوي كعامل بيئي

قد يأخذ تلوث الهواء الجوي الصفة المحلية وغالبا الإقليمية، ولكن هذه الظاهرة قليلة التناول ولكنها مهمة كعامل بيئي. وعند التطرق إلى أبحاث بيئية ممكن افتراض على إمكانية وجود تأثير واحدة فقط أو مواد ملوثة كثيرة في نفس الوقت. لذلك ومن المفروض العمل وبشكل دائم الأخذ بعين الاعتبار تأثير المواد الملوثة بشكل منفصل وذلك للأسباب الآتية:

1. إن كثير من المواد الملوثة ذات المصدر الطبيعي (أزوت – أكسيد الكربون – أكسيد الأزوت – الكبريت) وتأثير هذه المواد ممكن أن ينصب عن طريق تأثير محدود وضمن دلاليات طبيعية.
2. كل مادة ملوثة تمتلك صفات خاصة من حيث التفاعل الجزئي مع النظم البيئية لذلك فهي تتميز بوجود مستوى محدد فقط لمكوناتها في الجو، عند ذلك تبدأ تأثيرها على النظام البيئي.
3. وجود اختلاف متميز في آلية تفاعل هذه الأجزاء، هذا الاختلاف يجب ويتطلب تواجده باستمرار وأخذه بالحسبان عند دراسة تأثير خليط المواد الملوثة على النظام البيئي.

أ- خواص الهواء الملوث كعامل بيئي

الخواص المميزة للهواء الجوي الملوث تعتبر فقط في الأحوال النادرة التي تحدث من جراء تأثير مادة واحدة على عناصر النظام البيئي.

ويتميز الهواء الملوث أيضاً بتغير ملحوظ للمواد الملوثة حتى في حالة إذا كان التلوث من مصدر محدد (احتراق فحم حجري). ففي هذه الحالة يلاحظ حدوث تغير كبير لمكونات المواد الملوثة بالمقارنة مع المكونات التي لا تستمر لوقت طويل.

مع العلم أن خواص الهواء الملوث بإمكانية إيجاد علاقة بين مكونات (ثاني أكسيد الكبريت، أكسيد الأزوت، فلور هيدروجيني) في الهواء وانتشارهم المؤقت.

وإن خواص الهواء الملوث يجب أخذها في الحسبان وذلك عند دراسة النظام البيئي من حيث أعضائه والتي حياتها لا تستمر أكثر من سنة.

أما النظام البيئي والذي يستمر أو استمر لفترة طويلة مثل الغابة ففي هذه الحالة فإن التغير النوعي للهواء يحدث أثناء فترة النمو والتطور السنوي للأشجار، ففي هذه الحالة لا يمكن النظر إليه إلا بانتباه شديد. حيث أن من الطبيعي يكون التغير لنوعية الهواء سوف يحدث في المناطق التي تشهد تطور وتوسع كبير وسريع للمشاريع الصناعية. وإن تشكيل مستوى معين لتلوث الهواء تحدده ليس فقط حجم مخاليط المواد الملوثة من مصادر مختلفة ولكن ظروف انتشارها وتوزعها في الهواء الجوي. لذلك فإن تحديد تلوث الهواء ممكن ويجب فقط على أساس نتائج المراقبة والملاحظة والدراسة المستمرة وحتى وإن كانت حجم مخاليط المواد الملوثة قد وجدت في اعتبارات الصدفة حيث أنها تعتبر عاملا، وإن تحديد مستوى التركيز في الهواء والدور المؤثر على النظام البيئي، وكذلك تحديد تركيز المواد الملوثة وتأثيرها على فترة محددة لا تعطي بشكل مناسب للواقع. وهذا ما تؤكده نتائج قياس تركيز SO_2 في منطقة صناعية محاطة بأشجار الشوح (Picea a bies) حيث أن تركيز SO_2 تتغير وذلك عند تغير الظروف الجوية، وينعكس على مدى انتشار المواد الملوثة في الهواء الجوي، مع العلم أن محتويات مخاليط المواد الملوثة خلال السنوات الأخيرة بتنوع مستمر. ومن المحتمل أن مكونات ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي تتغير خلال فترة طويلة، وأن نسبة SO_2 فهي تتغير وبشكل ملحوظ من فصل لآخر، وأن تركيزه في الشتاء وفي أغلب الأحيان عالي، وكذلك تركيز SO_2 في الطبقات المنخفضة من الهواء الجوي غير ثابتة وهي تتغير في وسط اليوم، هذا التغير مصحوب بتغير درجة الحرارة بين الليل والنهار وكذلك قد يتغير خلال

ساعات. ويعود السبب في ذلك التغير لأوقات مختلفة ولفترة طويلة ومستمرة وبدون توقف فهي تعتبر صفة هامة تحدث في الهواء الجوي للمواد الملوثة الأخرى.

ب- آلية تأثير الهواء الملوث على النظام البيئي

إن التأثير الدائم والمستمر للهواء الجوي الملوث على النظم البيئية يعتبر نتيجة ما يلي:

1. التأثير المستمر لمختلف المواد الملوثة الغازية، الهطول الحمضي، تساقط الجزيئات الصلبة على جهاز التمثيل الوظيفي عند النبات، أعضاء التنفس للحيوانات وكذلك على وضع التربة وحتى على الظروف المناخية.
2. التأثير الغير مباشر على عناصر النظم البيئية وذلك كل عنصر وحده، والتغير المشروط لحالة ووظائف هذه العناصر تحت تأثير الهواء الملوث. أن نتائج حساسية عناصر منفردة لنظام بيئي لتأثير الهواء وعوامل قاسية أخرى تعتبر استثنائية هامة كمقياس لتطور النظم البيئية. وأن هذا المقياس يعتبر كثير التغير لمختلف الأنواع النباتية.

1. التأثير المباشر لتلوث الهواء على أجزاء منفردة للنظم البيئية

إن رؤية على وجود نظام بيئي فمن الضروري الإلمام بجميع الظواهر المؤثرة وناتج تفاعل عناصر هذا النظام. وإن التغير الملحوظ لحساسة مختلف الأنواع النباتية لتأثير تلوث الهواء حتى الوقت الحاضر مستندا على أساس المعلومات غير الدقيقة وأن تصنيف الأنواع النباتية في علاقة مع حساسيتها إلى التأثير فهي معتمدة على الأسس التالية:

1. تجارب غير مستمرة لفترة طويلة لمراقبة الظروف الواسعة أو المحدودة للهواء الملوث وذلك من حيث (تركيز وعلاقة المواد الملوثة مع بعضها في مخاليط).
2. مراقبة أجريت في مناطق التلوث وفيها لا تستخدم معلومات توضح تركيز المادة الملوثة أو مواد تنتمي للقياسات غير المستمرة - وأحيانا قياسات طويلة، فهي تسمح بتقدير تطور الأضرار مشترطة بتلوث الهواء.

ففي الحالة الأولى فإن النتائج ممكن أن تكون محصلة لنباتات السنة الواحدة وتستخدم في المستقبل لوصف ناتج تفاعل هذه النباتات. وإن استخدام النتائج المتوفرة من تجارب لنباتات السنة الواحدة وذلك لتقدير فعالية التأثير المستمر للهواء الملوث على الأنواع النباتية المعمرة ممكن أن يؤدي إلى نتائج خاطئة. حيث أن رد فعل النباتات المعمرة تحدده ليس فقط تأثير تلوث الهواء على أوراق النباتات، وإنما حالة تأثير النباتات لعوامل أخرى مؤثرة ومن ضمنها تأثر الهواء الملوث. أما التجارب التي تنفذ في مناطق التلوث فهي تقدم فائدة كبيرة وذلك من خلال استخدامها في تقدير حساسية النباتات للمواد الملوثة، وأن المعلومات الحقيقية والواقعية لتأثير التلوث على النباتات فهي ممكن استخدامها لتنبئ فعالية تأثير المواد الملوثة على النباتات في مرحلة تطورها.

ولكن هناك بعض المعايير في تنفيذ التجارب وعلى أساسها ممكن استخدامها في عملية تقييم التأثير، ومن الواضح التطور العادي لبعض الأنواع النباتية في النظم البيئية في ظروف الهواء الجوي الملوث، فمن الضروري التقيد بثلاثة معايير أساسية:

1. تطابق تشكل الكتلة الحية للنبات الحقيقي.

2. إمكانية استمرار تواجده في ظروف التأثير المستمر للتلوث.
3. المقدرة على الإنتاج عند تأثير التلوث.

إن هذه المعايير تحدد قدرة الأنواع النباتية بشكل منفصل في النظام البيئي ومن ضمنها الأنواع النباتية الأساسية المستقرة. هذا صحيح طبيعيا فقط داخل المجال الذاتي والذي لا يتجاوز حدود العيش لأي كائن حي.

لدراسة حساسية الأصول الشجرية لتأثير (الذي يؤدي إلى موتها) ثاني أكسيد الكبريت، المؤكسدات ووفلوريك الهيدروجين في بعض مناطق أوروبا – شمال أمريكا كان قد نفذ كمية المراقبات والأبحاث، فإن التأثير النسبي المستمر لتركيز العالي من ثاني أكسيد الكبريت فقد أثر على انتشار الصنوبر العادي (pinus sylvestris) في المناطق الأوروبية. ففي منطقة صناعية في إنكلترا سمحت الخروج بعلاقة بين محتويات الهواء من ثاني أكسيد الكبريت وتناقص أعداد النوع المذكور من الصنوبر. وإن الحساسية الكبيرة لأنواع الشجرية التي تنتمي إلى (Abies alba Mill) فإن السنوات الثلاثين الأخيرة من القرن العشرين أدت إلى اختفاء الأنواع الأخيرة من غابات أوروبا بالتدريج.

إن المراقبة التي أجريت في منطقة صناعية في جمهورية تشيكيا أظهرت اختفاء كثير من الأنواع الشجرية وذلك عند استمرار تركيز ثاني أكسيد الكبريت (20ملغ/ م^3) حيث بالإضافة إلى تأثير تركيز ثاني أكسيد الكبريت ازدادت حساسية الأنواع لتأثير الصقيع، وهذا ما أدى إلى زيادة الأضرار عند الأشجار. وفي الغابات الجبلية التي تتواجد فيها مجتمعات من الشوح – Abies والزان – Fagus والتنوب – pice. حيث أن الشوح قد لعب دورا خاصا. وذلك لامتلاكه نظام جذري كثير التطور وحجم ملحوظ للكتلة الحية سابقا المتساقطة. هذه العوامل تحدد قيمته في الإنتاج والاستقرار في النظام البيئي بوجه عام. لكن الشوح

أكثر عرضا للأضرار، مشروطة بتأثير الهواء الملوث. وعند زيادة محتويات ثاني أكسيد الكبريت في الهواء حتى تركيز 50- 70 ملغ/ م^3 يؤثر على التنوب مسببا له موت تدريجي. وأن الاستقرار مثل مجتمعات الزان ضمن الغابة ونتيجة لتعرض للخطر الذي يؤدي في النهاية إلى التناقص في إنتاجية Fagus من الأنواع الثلاثة. إن غابات الشوح الجبلية تعتبر ذات قيمة اقتصادية كبيرة وأن تأثير تلوث الهواء يعتبر أكثر وضوحا عليها. مع العلم أن زيادة محتويات ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي المحيط ممكن أن يؤدي لاختفاء النوع المذكور من بعض مناطق وسط أوروبا، ومن ثم فإن استقرار النظام البيئي للغابات المذكورة يتدهور. أما الأنواع الشجرية الأخرى مثل الغبيراء (Sorbus aucuparia) من حيث تأثير التلوث فلديهم القدرة على الإنتاج لحجم ملحوظ من الكتلة الحية خلال وقت قصير نسبيا ولهم المقدرة على التجديد تحت تيجان أشجار الشوح.

إن تأثير الظروف البيئية الطبيعية على درجة حساسية النبات لتأثير تلوث الهواء الجوي تعتبر مهمة جدا. وهذه العوامل مثل أشعة الشمس، حرارة الهواء، رطوبة الهواء والتربة، الوسط الغذائي، سرعة واتجاه الرياح، فكل هذه العوامل لها دور كبير في تحديد درجة رد فعل النبات على تأثير بعض المواد الملوثة.

ولتقدير تأثير العوامل المؤثرة على درجة حساسية النظام البيئي، يمكن توضيح الأهمية العامة لتأثير عوامل الوسط المحيط (الإشعاع الشمسي، الحرارة، سرعة الرياح وغير ذلك) على مقدرة غابات من الشوح العادي لتعويض الخسائر من جراء تلوث الهواء الجوي. أنظر إلى الجدول رقم (7) يوضح درجة تضرر غابات الشوح عند التأثير المستمر لتلوث الهواء خلال ثمانية سنوات وذلك على ارتفاعات مختلفة من انتشارها في جبال أوبي في جمهورية تشيكيا. حيث يظهر الجدول أن المستوى الأكثر ضررا لغابات الشوح قد لوحظ على ارتفاعات عالية

وكان تركيز الهواء الجوي من ثاني أكسيد الكبريت (30- 40 ملغ/ م^3). وهي توضح درجة فعالية تأثير المواد الملوثة في الهواء وعند تركيز منخفض نسبيا.

درجة تضرر غابات الشوح عند ثبات التأثير المستمر لتلوث الهواء خلال 8 سنوات

الجدول رقم (7)

الارتفاع عن سطح البحر م	تركيز SO_2 ملغ/ م^3	درجة الأضرار
440	79	فقط أضرار غير ملحوظة
680	51	تراجع في مقدرة أعضاء التمثيل
1200	38	تضرر ملحوظ للأشجار مستوى منفصل ملحوظ وموت مجاميع من الأشجار

وإن صفات زيادة حساسية الأنواع الشجرية مع تزايد الارتفاع تؤكد هذا العامل، حيث أن درجة تضرر الأشجار تعبر عن مجموعة العوامل المؤثرة من تلوث الهواء الجوي مع عوامل أخرى غير مناسبة.

وإن المرحلة الأخيرة لانحلال النظام البيئي تكون بشكل تحطم كامل للغطاء النباتي – وهذا يشاهد نادرا، لكن هذا يلاحظ فقط عن التركيز العالي لثاني أكسيد الكبريت – فلوريك الهيدروجين، مركبات أزوتية أو غبار المغنيسيوم في الهواء الجوي.

2. التأثير المباشر على الحيوانات

الطبيعة لا تسمح إيجاد اختلاف بين التأثير المباشر للمواد الملوثة والتي تنتقل للحيوان وتدخل إلى جسمه عبر الجهاز التنفسي عنده، والتأثير الغير المباشر

للحيوان وذلك عن طريق انتقال المواد الملوثة في الغذاء الذي يتناوله. وإن التأثير المتبـادل للغطاء النباتي الطبيعي والحيوان يدخل معه كمية من العوامل غير المبـاشرة. مثـل التـأثير غير المباشر من الحشرات.

3. تأثير تلوث الهواء على التربة

عند احتمال التأثير المباشر على النبات وإمكانية التأثير أيـضا عـلى الحيـوان في مجـال النظام البيئي، فمن الضروري أيضا الانتباه لتأثير على التربة – خاصة على الخـواص الكيميائيـة والبيولوجية. وإن التأثير المباشر على التربة يكون واضـحا عنـد تحطـيم الغطـاء النبـاتي، الـذي يلعب دوراً في تحضير وحفظ التربة مـن التـأثير المبـاشر للمـواد الـسامة الملوثـة المتواجـدة في الوسط المحيط. في حال تضرر الغطاء النباتي فإن إمكانية التجديد عند تناقص محتويات المواد الملوثة في الهواء أو عند توفر ظروف أفضل للنمو، فـإن التغـير في التربـة يكـون غـير ملحـوظ يعقبه تغير جيد لخواص تراكم المـواد الملوثـة. وإن تـأثير المـواد الملوثـة ممكـن أن يـؤدي إلى إحداث تغيرات في التربة بشكل ملحوظ وعلى نطاق واسع. في الوقت الحاضر يلاحـظ تواجـد مناطق منفصلة تتناقص خصوبة التربة فيها، وتضرر الغطـاء النبـاتي مـن خـلال تلـوث الهـواء (غبار أكسيد المغنيسيوم من نواتج صناعة الاسمنت) ويمكن ملاحظة تغير الغطاء النبـاتي عـن تأثير جزيئات الرماد المعلقة في الهواء والتي تحتوي على كمية لا بأس بها من الكالسيوم.

إن تساقط غبار أكاسيد المغنيسيوم على التربة يعتبر خطراً لـيس فقـط مـن خلال تأثيره على بعض صفات التربة، وإنما ما يتبعه أو ينتج باعتبـاره غبـار شـديد السمية. مع العلم أن تأثير غبار أكسيد المغنيسيوم وجزيئات الرماد الـصلبة عـلى الترب ممكن أن تؤدي إلى زيادة أو ارتفاع PH مـن 4,7 حتـى 9,3، ويرافـق ذلـك تنـاقص أو انخفـاض حركـة البوتاسـيوم، الكالـسيوم والمغنيـسيوم، مـما يـؤدي إلى

انخفاض درجة استيعاب النبات للبوتاسيوم والفوسفور إلى مستوى حرج، والذي يعتبر ضروري لتغذية النبات، ونتيجة ذلك الظروف تؤدي إلى تدهور الغطاء تؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي. وإن تساقط المعادن الثقيلة على بعض المناطق القادمة من مؤسسات ومصانع التعدين، ممكن أن تؤدي لأحداث تأثير خطر على النبات والتربة معاً. والبيئة الناتجة مشروطة بادخار كميات كبيرة من المعادن الثقيلة، فهي خطيرة جداً. مع العلم أن كثير من المعادن الثقيلة تتميز بدرجة كبيرة في التربة.

وإن قياس التغيرات في النظم البيئية، مشروط بتأثير الجزيئات الصلبة المعلقة أو المحمولة إلى الترب، أو الانحلال العام لنظام البيئي على سطح المنطقة، المجاور مباشرة لمصدر الجزيئات المعلقة. وفي اختلاف الجزيئات الصلبة عن الغازية فإن الأخيرة ممكن أن تنتشر على مساحة أكبر في المنطقة.

4. التساقط الحامضي

إن زيادة الاهتمام بدراسة تأثير التساقط أو الهطول الحامضي على النظم البيئية مشروط بالعوامل، التي ممكن أن يظهر تأثيرها على أكثر بعدا من مصدر التلوث وذلك (بالمقارنة مع المواد الغازية الملوثة المختلفة). ومن الصعب فصل العوامل المؤثرة على التساقط الحامضي من التأثير المباشر لمختلف المخاليط الغازية الضارة على النظم البيئية.

وإن زيادة مستوى محتويات بعض المواد الملوثة في الهواء الجوي، وفي الأساس التي تنتمي إلى ثاني أكسيد الكبريت، وفعالية تأثير مختلف المخاليط الغازية والهطول الحامضي تملك صفات إقليمية. ويمكن اعتبار التأثير المشترك لمختلف المخاليط الغازية والهطول الحامضي حقيقة التأثير على النظم البيئية وهذا ما نلاحظه سوء الوضع البيئي وحساسية النظم البيئية أيضاً عند كثير من الغابات في العالم سواء كانت في أوروبا أو أمريكا أو أستراليا.

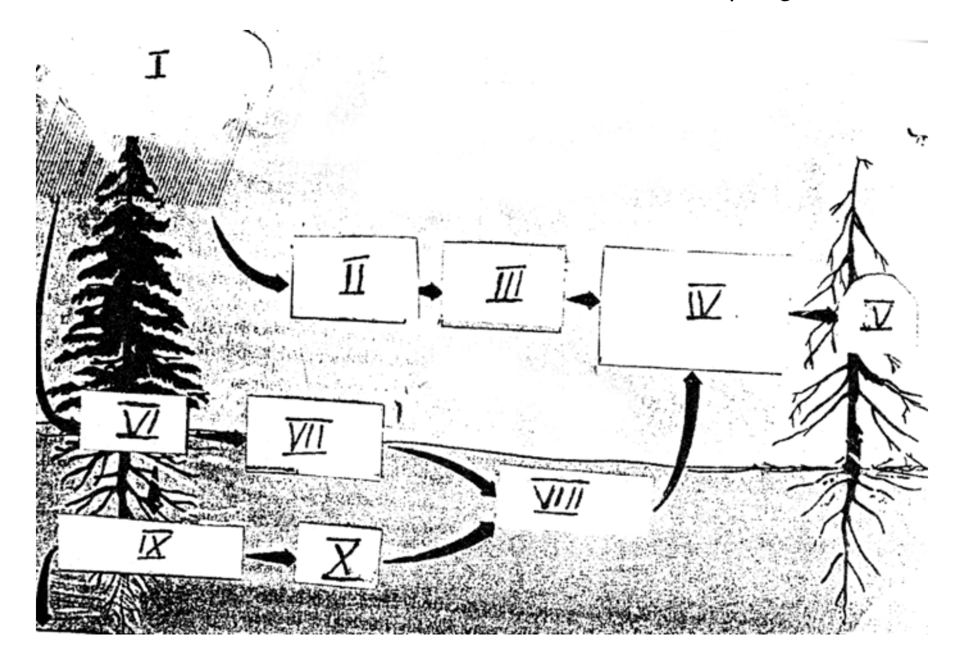
يحتوي ماء الأمطار على عناصر مختلفة، وأن مصدر هذه المـواد الملوثـة نـاتج مـن عمليات الانجراف الريحي للتربة، نواتج البراكـين، قطـرات رزاز ميـاه البحـار، بالإضـافة إلى المواد الملوثة التي يقوم الإنسان برميها في الهواء الجوي نتيجة النشاط البشري اليومي.

وإن تحديـد التغـيرات الكيميائيـة لمكونـات الهطـول الحامـضي ممكـن أن تكـون مشروطة بمصادر النشاط الحيوي للإنسان. وأن التأثير المتبادل للمواد الغازية الملوثة التـي ترمى في الهواء الجـوي بالإضـافة إلى الجزيئـات الـصلبة المعلقـة بـالهواء تـؤدي إلى تـشبع الهطول الحامضي بحـامض الكبريتيـك، الأمونيـوم، الأزوتيـك وبعـض الأجـزاء الأخـرى. وإن محتويات المواد الملوثة في الهطول أو التساقط ممكن أن تزداد إلى مستوى ممكن أن تؤثر وبشكل حقيقي على المسطحات المائية، وهذا ينعكس سـلبا عـلى وضـع الميـاه العذبـة في النظم البيئية، ويرافقها في ذلك تغير في مكونات التربة الكيميائية.

التحليل المفصل للعمليات التي تؤدي إلى الارتفاع في درجة حموضـة التربـة نتيجـة التساقط الحامضي، حيث لوحظ في منطقة ينمـو فيهـا بعـض مـن الأنـواع الحراجيـة مثـل Betula Verrucosa وPicea abies وإن الأشجار تحت تأثير مباشر لمختلف المواد الغازية الملوثة، أما تلوث التربة فقط كان من خلال التساقط الحامضي. وكان مصدر التلوث فقـط من خلال المواد الناتجة عن حرق الوقود، وأن دخول المواد الملوثـة لنظـام البيئـي أدى إلى تدهور شديد في عملية امتصاص المواد من قبل النبات نتيجة تمعـدنها. ونتيجـة لاسـتمرار عملية التلوث أدى إلى تسجيل فصل المونيوم والمنغنيز من التربة، وكذلك تناقص ملمـوس للكالسيوم المتحرك. وأن درجة وشدة هذه العمليـات تتوقـف عـلى تركيـب أو محتويـات الأنواع الداخلة في النظم البيئية، وخاصة من الأشجار.

إن حساب كمية المواد الملوثة المترسبة نتيجة التساقط على التربة تحت تيجان الأشجار، فهي ليست عملية معقدة. لكن هناك صعوبات ملموسة وذلك عند تقدير كمية محتويات المواد الملوثة المتراكمة في التربة عند عمليات امتصاصها من قبل سطح التربة. وأن صعوبات التنفيذ تعطي مؤشراً للعلاقة بين الاختلاف النسبي في نتائج قياس سرعة ترسب المكونات الغازية. وأن متوسط سرعة ترسب 1سم/ ثا من ثاني أكسيد الكبريت من الهواء 100ملغ/ م^{3} فإن المتوسط السنوي لترسب الكبريت يكون على السطح حوالي 15,75 طن/ كم^{2}. في المناطق الحراجية والتي تتميز بوجود طبقة على سطح الأرض من مخلفات الأشجار والتي تتكون من أوراق متساقطة وكذلك أغصان وثمار فهي تشكل طبقة واقية لسطح التربة، وأن سرعة ترسب المخاليط الغازية من الهواء تملك قيمة أقل، وهذا يؤدي إلى تناقص الهطول الجاف من الكبريت على السطح. وكما وضح سابقا فإن تقدير سرعة التساقط الجاف من الغازات على المواد الحراجية المتساقطة يتوقف على كمية ونوعية المنتجات المتساقطة، المتواجدة في دوبال التربة: وأن المواد العضوية غير المتحللة لها القدرة على امتصاص كمية غير ملحوظة من ثاني أكسيد الكبريت وعند زيادة درجة تحلل المواد العضوية في طبقة الدوبال تزداد سرعة الترسب الجاف لثاني أكسيد الكبريت وكمية الكبريت المتراكمة في التربة. ومن المؤكد أن تلوث التربة لدرجة ملحوظة فهناك مساهمة من قبل الأوراق المتساقطة وأفرع الأشجار وما تحتويه من مواد ملوثة، حيث تراكمة عليها خلال مرحلة النمو الفصلي. وأن كمية إضافية تدخل التربة من المواد الملوثة عن طريق الأوراق والأغصان ولكن أن الكمية تتوقف حسب نوع الأوراق وأعضاء النبات ومقدرتها على امتصاص المواد الملوثة وتراكمها داخل الأوراق وأعضاء النبات. وأن سرعة تراكم المواد السامة مختلفة بشكل ملحوظ. مع العلم أن محتويات الكبريت في النبات تزداد من حساب امتصاصه من الجو بالمقارنة مع الاحتواء الطبيعي

للكبريت في النبات والذي لا يتجاوز 0.1. فعند تأثير فلوريك الهيدروجين على النبات من جراء التلوث الذي يؤدي إلى زيادة محتويات في الهواء الجوي يلاحظ أن كمية الفلور في النبات تزداد في 1000 مرة (بالمقارنة مع محتوياته الطبيعية في النبات). وأن تراكم المواد الملوثة في النباتات ممكن أن تؤدي بدورها إلى التأثير على سرعة تحلل المواد العضوية المتساقطة على التربة.



الهطول أو التساقط الحامضي ومساهمته في موت الأشجار وتدهور التربة

- الهطول الحامضي.
- موت الأفرع والأوراق.
- انخفاض التمثيل الكلوروفيلي والنمو.
- زيادة الحساسية للعوامل المناخية والآفات الحشرية.
- موت الشجرة.

- تحمض التربة.
- موت الأحياء الدقيقة في التربة.
- تلوث الماء الأرضي والعناصر الغذائية القابلة للامتصاص.
- تحرر وانطلاق العناصر المعدنية السامة.
- تلف وموت الجذور.

5. تغيرات التربة تحت تأثير التساقط الحامضي:

من مفهوم بيئي للمشكلة، فإنه يتوقف على العلاقة بين تأثير التساقط الحامضي ومختلف النظم البيئية، ويمكن أن، يكون أكثر وضوحا وملحوظاً لمساحات كبيرة. لكن للمناطق الحراجية تكون الأضرار من جراء تلوث الجو أكثر وضوحا، وأن عملية فصل لتقدير التأثير المباشر لتلوث الهواء وعمليات التلوث ثانية على التربة وحالة الأشجار تشكل مسألة معقدة. ولكن هناك مقاييس يسمح من خلالها فصل تأثير الهطول الحامضي على وضع التربة. وأن تأثير الهطول الحامضي يؤدي إلى إحداث تغيرات في عملية التفاعلات داخل التربة. وهذا ما يطابق ما جاء من معلومات أجريت في مناطق التلوث الملحوظ للهواء. وأن Ph دو بال التربة تتناقص من 3,54 حتى 3,07، أما في التربة المعدنية (على عمق 30سم) من 3,9 حتى 3,57. وهناك تغير ملحوظ لحموضة التربة (عمق 60سم) لدى غابات الشوح وهذه الظاهرة استمرت لعدة سنوات. فمن المحتمل التغير في حموضة التربة عند تأثير التساقط الحامضي ممكن أن يحدث تناقص كمية المواد الغذائية في التربة، وأن ازدياد سرعة تشكل محلول المعادن السامة (مثل الألمونيوم) يؤدي إلى تضرر الأعضاء النباتية.

جـ- الظواهر الثانوية لتأثير تلوث الهواء على النظم البيئية

تحت تأثير الهواء الجوي الملوث تتغير ظروف التنافس بين الأنواع النباتية في النظم البيئية ويؤدي في النهاية لاختفاء الأنواع الأكثر حساسية لتأثير المـواد الملوثـة. لكـن ممكـن بعد ذلك يـؤدي إلى حـدوث تغـير في شروط تواجـد عنـاصر الـنظم البيئيـة، مثـل تنـاقص التظليل تحت الأشجار دائمة الخضرة، من تأثير المواد الملوثة. مثل هذه العوامل ممكـن أن تؤدي إلى أضرار بالنباتات، وكذلك تطورها الذي يحدث في ظروف التظليـل العـالي. وأن رد الفعل الثانوي من جراء حدوث بعض الظروف غير المناسبة لتطـور الـنظم البيئيـة بعلاقـة مع حالة الوسط المحيط. وهناك تغير ملحوظ يحدث في توزع الأنواع الحشرية وذلك مـن حيث اختفاء أنواع أو ظهور أنواع أخـرى مـن الحـشرات المرافقـة للغابـات المتـضررة. وأن التأثير المباشر لـلـهطول الحامـضي عـلى الغابـات دائمـة الخـضرة في الـنروج أدت إلى تزايـد حجم الأشجار المتضررة، مشروطة بتأثير حشرات (Exteleia dodece lar).

وإن إعادة إنتاج وتوزع انتشار كثـير مـن النباتـات يتوقـف عـلى نـشاط الحـشرات الملقحة. حيث أن التأثير على الحشرات الملقحة مثل نحل العسل مـن قبـل المـواد الملوثـة مثل الفلوريدات وثاني أكسيد الكبريت، ممكن أن يؤدي إلى تغير ملحوظ ينحصر بتنـاقص محصول كثير من أشجار البساتين المزروعة.

وتغير صفات مكونات التربة ممكن أن تؤدي إلى تغـير في تـوزع الأنـواع داخـل النظم البيئية. وهذه التغيرات ممكن أن تحدث تحت تأثير غبار المغنيـسيوم أو غبـار الاسمنت على التربة. وأن بعض التغيرات الثانوية من مظاهر تأثير تلوث الهواء الجوي تظهر أيضاً كالتغيرات المتعلقة في النبات عند التأثر بالعوامل الغير المناسـبة للطقـس، كالزيادة بكمية الأمطار، مستوى الإشعاع الشمسي (الجفاف، الصقيع...) يتبـع تـسارع عمليــات التحليــل التـــي تـــصب في طبقـــة دوبـــال التربـــة، تزيـــد كميـــة المـــواد

الغذائية، التـي يحتاجهـا النبـات، وهـذه تـؤدي إلى تحـسين ظـروف تطـوره. وأن تنـاقص استهلاك الأشجار للماء من التربـة في ظـروف الطقـس الرطـب ممكـن أن تـؤدي إلى غـرق التربة، مما سبب إلى سوء ظروف النمـو. وتغـير رطوبـة التربـة ممكـن أن تـسبب تنـاقص حساسية النبات لتأثير تلوث الهواء. وبصورة مشابهة فإن التغير الطبيعي يملك قيمة مهمة لتطـور الـنظم البيئيـة وذلـك في حـال حدوثـه عـلى مـساحات ملحوظـة، يـؤدي إلى تغـير المنطقة.

1- تأثير تغير الوسط المحيط على النظام الوظيفي:

إن التغيرات التي تحدث في النظم البيئيـة مـن جـراء التـأثير المبـاشر وغـير المبـاشر لتلوث الهواء الجوي فهي قادرة على توضيح ذلـك التـأثير عـلى الأجـزاء المنفـصلة للـنظم البيئية، كتأثير المباشر على التربة أو ظروف الطقس. ومن خلال ذلك التأثير يظهر رد فعـل النظم البيئية وذلك خلال فـترة التطـور القـادرة عـلى أن تظهـر في أوقـات مختلفـة. ومـن البديهي حدوث أي تغير في النظم البيئية، فهو يملـك صـفة الميـل إلى التفـاقم وذلـك عنـد تزايد مستوى تلوث الهواء الجوي. وأن حدوث تغير في مختلف العوامل البيئية ممكـن أن تؤدي إلى زيادة حساسية أجزاء منفصلة لنظم البيئية من جراء تلوث الهواء الجوي.

وفي الحالات الحرجة وتحت تأثير التلوث ممكن أن تؤدي التغـيرات إلى توقـف تشكل الكتلة الحية أو دورة المواد المعدنية، وهذا ينعكس سلبا عـلى الغطـاء النبـاتي. وعند حدوث التغير يؤدي إلى إحداث أضرار للنظم البيئية الحساسة ومن ثم تـضعف استقراريتها، وهذه النظم بدورها سوف تختفـي لتحـل مكانهـا نظـم تتميـز بمقاومـة أكثر.

2- تشكل الكتلة الحية:

إن انطلاق المحتويات الأزوتية من مصادر صناعية في الهواء الجوي ومـن ثـم انتـشار أكاسيد الأزوت في الهواء قد تؤدي أحياناً إلى إحداث تـأثير إيجـابي عـلى نمـو الأنـواع النباتيـة الحراجية، ولكن لمساحات ليست كبيرة وذلك لتزايد محتويات ثاني أكسيد الكبريت، الأزوت، فلوريك الهيدروجين في الهواء الجوي والتي تـؤدي إلى تنـاقص النمـو عنـد الأشـجار وتكـوين الكتلة الحية الخضراء عند للنبات بشكل عام. وأن تناقص تلك المنتجات والتـي لهـا الأهميـة الاقتصادية لنبات الذي يتواجد تحت تأثير تلوث الهواء الجوي فهو يـؤدي إلى تنـاقص حجـم الإنتاج بشكل عام. وأن تناقص حجم إنتاج الكتلـة الحيـة لـبعض الأنـواع النباتيـة الحـساسة لتلوث الهواء ممكن يكون مناسباً من حيث تشكل الكتلة الحية في بعـض الأنـواع المتحملـة. وأن تناقص حجم أو تكوين الكتلة الحية ممكن أن يكون مشروطاً بالأسباب التالية:

1. تناقص امتصاص وتمثيل ثاني أكسيد الكربـون مـما يـؤدي إلى تـأثير سـلبي على العمليات البيوكيميائية والفيزيولوجية التي تحدث.
2. تناقص مساحة المسطح الورقي من خلال التساقط المبكـر مـما يـؤدي إلى تناقص في سرعة تطور الأوراق.
3. التزايد في الأعداد السمية للأنواع النباتية الأكثر حساسية.

إن فعالية تأثير المواد الملوثة لـلـهواء الجوي عند مستويات معينة قد لا تؤدي إلى ملاحظـة أضرار عند النبات، ولكن قد تكون مشروطة بتناقص مـستوى عمليـة التمثيـل، ولا تتجـاوز عمليـة التناقص بفعالية التأثير على النبات (تناقص حجم الكتلة الحية) من جراء ظروف الطقس المتطرفـة (سنوات الجفاف الشديدة أو الباردة). العوامل المبينة سابقا لا يمكن أن يكون لها أثر جوهري عـلى معـايير اسـتقرارية الـنظم البيئيـة، ومراقبـة التغـير القريـب مـن مـستوى الاسـتقرار غـير قـادر

على تغير وظائف النظم البيئية. ولكن هناك تأثير لانخفاض تركيز ثاني أكسيد الكبريت على الشوح العادي، حيث يؤدي إلى تغير نسبي ملحوظ لمحتويات بعض المحتويات الكيميائية في الأوراق الإبرية لنوع المذكور من الأشجار. لذلك فإن الإمكانية الكاملة لتغير ممكن أن يرافق تناقص المقاومة لتأثير المقاومة الحيوية ل لبعض الأمراض وعواملها المسببة، وكذلك يؤدي إلى ضياع الكتلة الحية للأوراق الإبرية وحتى تزايد سرعة موت الأشجار. وأن الأكثر شدة لإظهار التغير يلاحظ عند التأثير العالي لتركيز المواد الملوثة، والتي تؤدي إلى إحداث أضرار شديدة للأوراق. ولكن تلك الظواهر في حالة لم تكن بشكل واسع، فالتأثير على تشكيل الكتلة الحية يبقى غير جوهري. مع العلم أن الفترة الطويلة لتأثير انخفاض تركيز بعض المواد والتي قد تكون ملوثة في حالة تواجدها بكميات كبيرة فيمكن أن تظهر تأثيرها على تطور النبات ونمو الأفرع والأوراق وأحيانا قد تؤدي إلى التساقط المبكر للأوراق. وتحت تأثير الهواء الملوث يحدث تحول عند الأوراق من تطور سليم وجيد إلى تطور تدميري بشكل تدريجي. وهناك خواص ذاتية عند النبات وذلك برد الفعل عن طريق الأوراق على تأثير المواد الملوثة. وهي محددة وراثياً، ولكن درجة ظهورها تتوقف على درجة التأثير المتبادل مع تلك العوامل المختلفة كالتربة والرطوبة وحالة الوسط الغذائي وإلى آخره. وأن رد الفعل الذاتي لأوراق نوع نباتي معين على زيادة مستوى تلوث الهواء يتوقف أكثر وضوحا وذلك في تحديد الاختلاف الذاتي في الخواص المختلفة لأنواع النباتية في عملية الاستمرار في الحياة.

في المراحل الأولى من تأثير تلوث الهواء على الغابة فمن الصعب التمييز بين العوامل الطبيعية المؤثرة وتأثير التلوث في عملية موت الأشجار، وهكذا فإن تأثير المواد الملوثة ممكن أن تسرع في موت الأشجار وحتى أضعاف تأثير العوامل الغير المناسبة للوسط المحيط (الصقيع، الجفاف، زيادة رطوبة التربة، تأثير الحشرات).

ومن جهة أخرى فإن تأثير هذه العوامل ممكن أن تؤدي إلى موت الأشجار، وذلك بالتأثير الضعيف (المباشر أو غير المباشر) لتلوث الهواء الجوي. وأن تأثير الهواء الملوث على تكوين الكتلة الحية فهو يتوقف بدرجة ملحوظة على وضع أو حالة تضرر العناصر الأساسية للنظم البيئية. فعلى سبيل المثال لدى النظم البيئية الحراجية فهو يتسبب إلى تضرر الأنواع الأساسية للأشجار. وأن حساسية هذه الأنواع الشجرية إلى تلوث الهواء، وسرعة تطور الأضرار واستفحالها، تحددها أما نتيجة التناقص في عملية التكوين العام للكتلة الحية، وأما تناقص في عملية نمو الكتلة الحية في هذا الجزء من النظام البيئي، والتي يحتلها نوع آخر في مسيرة تطور النظم البيئية. وفي حال تكوين أو تشكل الكتلة الحية يتوقف على إنتاجية الأنواع الشديدة الحساسية، ولكن فإن المساحة أو الفراغ التي تتركها الأنواع الحساسة الشديدة الدرجة يحتله آخرين من الأنواع الأكثر تحملا. وأن حجم المواد العضوية المنتجة للنوع الجديد، ممكن أن تكون متشابهة أيضا أو تفوق الأنواع المختلطة. وعلى ذلك الأساس يمكن أن تؤدي إلى موت الأنواع الأكثر حساسية في الغابات الجبلية – الشوح العادي مثلا ومن ثم تحتله البتولا من الطابق الثاني للغابة والتي أصبحت السائدة فإن إنتاجها يمكن في السنوات العشر الأولى إلى أن يؤدي إلى تفوق منتجات غابة الشوح. وفي حال أن الأنواع الأساسية النباتية في النظام البيئي مستقرة نسبيا، فإنه من الممكن أن يكون الضياع القادم للكتلة الحية لهذه الأنواع مشروطاً بتأثير الهواء الملوث، ويمكن أن يكون الضياع للكتلة الحية بدرجة ملحوظة في النظام البيئي بشكل عام. وأن سرعة تحلل المواد العضوية المتراكمة على سطح الغابة ممكن أن تتسارع مرافقة لتحطم تيجان الأشجار وفي النتيجة تكون الإضاءة لتربة تزداد وكذلك كمية الترسيب للمواد الصلبة أيضا. مع العلم أن هذه العوامل بدورها تؤدي إلى زيادة حجم المواد الغذائية في التربة مؤقتاً.

ولكن عند تزايد مستوى تلوث الهواء ومـن ثـم تحمـض التربـة فـإن عمليـة تحلـل المواد العضوية يتباطئ نتيجة غنى التربة بالعناصر السامية (الألمونيوم).

وأن تغير إنتاجية الكتلة الحية بعلاقة مع الأهمية الاقتصادية العامة وذلك بمجـالين هما:

1. تغير حجم تكوين مثل المنتجات الاقتصادية القيمة كالأخشاب والثمار.
2. التغير التالي للغطاء النباتي للمنطقة بأجملها.

ومن الطبيعي أن التغيرات الجوهرية للنظم البيئية الحراجية قـادرة أن تـؤثر عـلى إنتاج أو محصول الغابة من الثمار، ولكن الأكثر أهمية ينحصر في تناقص حجم الإنتاج من الأخـشاب. وأن حـساب هـذه القيمـة تتميـز بأولويـة عاليـة للأهميـة الاقتـصادية لهـذه المشكلة. وهذا ما يلاحظ على النتائج الجوهريـة لتنـاقص الكتلـة الخـشبية لـدى الغابـات الصنوبرية في وسط أوروبا، والتي يعود السبب في ذلك لتأثير تلوث الهواء الجـوي ويكـون أكثر وضوحا. وفي هذه الغابات يتناقص ليس فقط النمـو الـسنوي لـبعض الأشـجار ولكـن يكون التأثير أكبر الأنواع الأكثر حساسية.

ونتائج دراسة تناقص النمو عند الأشجار من حيث الأخـشاب تحـت تـأثير التلـوث يمكن الخروج بالاستنتاج التالي:

1. إن تناقص النمو أو الزيادة السنوية للخشب ممكـن حدوثـه دون علائـم خارجية.
2. في الظروف المحددة هناك علاقة طردية بين درجة تضرر الأشـجار وحجـم الضياع عند الأخشاب.

3. التطور السنوي من حيث النمو يعكس تأثيرات مختلفة في حساسية أنواع معينة لتأثير التلوث وعوامل أخرى ممكنة.
4. زيادة تأثير المـواد الملوثـة يـؤدي إلى تنـاقص الأعـداد النباتيـة، والتـي لهـا المقـدرة عـلى تنظـيم الظـروف البيئيـة، مثـل كميـة الأمطـار، الارتفـاع في درجات الحرارة وإلى آخره.

إذاً فهذه التغيرات ممكن أن تكون كافية لتوضيح التأثير المباشر لتلوث الهواء عـلى إنتاجية الأخشاب وإمكانية إحداث تغيرات أخرى في التربة.

إن اختبار تأثير التغيرات السنوية أو النمو السنوي للغابات فهو بشكل كافي مـسألة معقدة. وإن تنفيذ مثل الاختبارات الأساسية لإمكانية مقارنة المعطيات عن حالة الغابـات والتربة في مناطق معرضة لتأثير الهطـول الحمـضي، وفي منطقـة لم تظهـر فيهـا مثـل تلـك الظواهر. فإن إمكانية تناقص حجم النمو السنوي يعتبر استنتاجاً واضحاً.

1- دورة المواد المعدنية

إن أهمية دراسة تأثير تلوث الهواء على النظم البيئية تعتبر تأثير التلوث على دورة المواد المعدنية. وأن المواد الملوثة تتميز بدورها المؤثر على نوعية الماء والتربة.

التغير في الدورة الكيميائية للعناصر فهو مشروط بتأثيره على الـنظم البيئيـة، التـي تحدث التغيرات التالية:

1. كمية ونوعية المواد المعدنية المستهلكة.
2. تركيب المواد الغذائية، المستهلكة من قبل أوراق النبات.
3. كمية المواد الغذائية المتواجدة في التربة وقيمتها للنبات.
4. حركة تحلل طبقة الدوبال في التربة.

5. تركيب الأنواع النباتية والتي تتميز بحساسية مختلفة.

إن كمية المواد التي تتساقط نتيجة تلوث الهواء واشتراكها في دورة المـواد المعدنيـة في النظم البيئية، تحدده ليس فقط تيارات التساقط من المواد الملوثة عـلى سـطح التربـة، ولكن فعاليتها واستخدامها بعد الهطول أو التساقط على التربـة. وأن محتويـات الكبريـت والأزوت الداخلة في مكونات المواد المتـساقطة مـن الهـواء الملـوث تـشترك في دورة المـواد المعدنية. ولكن الفلور وكثير من المعادن الثقيلة التي يمتصها النبـات مـن خـلال مجموعـة الجذري التربة فإنها تشترك في دورة المعادن بكمية غير ملحوظة.

بعض أجزاء المواد الملوثة لـلـهواء الجوي مثل ثاني أكسيد الكبريت، لها المقدرة على إظهار تأثيرها على تركيز المعادن الأخرى في أعضاء التمثيل. والواقع المعـروف ينتـسب لهـا أيضاً وزيادة ملحوظة لتركيز حمض السيليكون وكذلك المغنيسيوم. البوتاسيوم والكالـسيوم في الأوراق الإبرية لصنوبر والشوح. وكذلك تغير تركيز الأزوت والفوسفور وقد لـوحظ في الأوراق الإبرية لهجين نوع الصنوبر Pinus banesiana xp . contorta وتغـير أيـضاً في أوراق النـوع الهجين المذكور كل من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والألمونيوم والتوتياء.

بعـد ذلـك هنـاك تغـيرات في التربـة، فهـي مـشروطة بتحريـر المعـادن الثقيلـة والألمونيوم، والتي تؤدي إلى تغيرات في محتوى المواد المعدنية في النبات.

وهكـذا يلاحـظ تنـاقص في محتـوى الكالـسيوم في النبـات الـذي ينمـو عـلى الترب التي تتعرض لتساقط أو هطول أكاسيد المغنيسيوم المتبلورة. ويلاحـظ وبـشكل ملحـوظ عـدم كفايـة المنغنيـز في الأوراق الإبريـة لـصنوبر الـذي ينمـو عـلى الـترب المعرضة لتأثير غبار مصدره معامل الاسمنت. ومن البديهي أن ظاهرة تشكل محاليـل الألمونيـوم الـذي تـستخدمه النباتـات التـي تنمـو عـلى الـترب الحامـضية، الـسبب

في احتواء أو تواجد الألمونيوم في أعضاء النبات والذي ممكن أن تصل لدرجة السمية لجميع النباتات. ومن الواضح أن التغيرات السابقة فهي ممكن أن تحدث خلال فترة طويلة، لكن لا يمكنها أن تسبب تأثيراً ملحوظاً على استقرارية النظم البيئية.

وأن تغير سرعة تحلل المواد العضوية في الطبقة الدوبالية من التربة ممكن أن تحدث بسرعة وذلك عند تحطم تيجان الأشجار، فهي تؤدي إلى زيادة درجة الإضاءة للتربة وكذلك رطوبتها أيضا على حساب هطول كمية إضافية من الأمطار.

هذه العمليات ممكن أن تؤدي إلى زيادة تحرر عناصر المواد الغذائية في التربة. ولكن عند زيادة حجم تأثير المواد الملوثة التي يلقيها الهواء على التربة، تظهر المواد السامة في طبقة الدوبال ومعها كثير من المعادن المسببة أيضاً تحمض التربة مما يؤدي إلى توقف عمليات تحلل المواد العضوية في التربة. إن التغيرات الأكثر أهمية في النظم البيئية تتعلق بدورة المواد الغذائية، وهي تتوقف من التغير حسب الأنواع النباتية المكونة. وأن العناصر الكيميائية التي تتوقف في الأكثر استقراراً في إنتاج الكتلة الحية – الأخشاب، فهي تتراكم في التربة بكميات مختلفة، ولها القدرة على تغير سرعة تحلل المواد العضوية في التربة. وهذه التغيرات تتعلق أيضاً حسب نوعية التساقط (أوراق، أفرع) القادمة لسطح التربة.

وأن خلال فترة احتلال نوع من الأشجار مكان آخر، أكثر استقراراً، تتغير سرعة تحلل المواد العضوية ويمكن أن تكون لها القدرة على تعويض التأثير الغير المناسب للهطول أو التساقط الحامضي وعلى سرعة تفكك المكونات العضوية في التربة.

4- تغير الوظائف الأخرى للغطاء النباتي

عند التدهور أو التدمير الكامل للغطاء النباتي تختفي معه جميع الخـواص المميـزة للمنطقة. ولكن قبل الوصول إلى تلك الظروف القاسـية التـي تنـتج عـن التـدهور الكامـل للغطاء النباتي، هناك إمكانية كبيرة لتوقيـف تـدهور حالـة النبـات في مراحـل مبكـرة مـن تطورها، مرافقة لتأثير تلوث الهواء. وأن تأثير الهواء الملوث على النظم البيئية يتوقف على حجم المواد الملوثة، الداخلة أو الدخيلة في ذلك النظم. وعند النظر لوظيفة الغطاء النبـاتي كمصفي طبيعي، لامساك المواد الملوثة، فإن المعايير الحرجة عند معاملـة هـذه الوظـائف تعتـبر المـساحة العامـة لـلأوراق (كـسطح ممـتص)، الأعـشاب وتـوزع انتـشارها. إذا فـإن التيجان الكثيفة لأشجار الغابات ممكن اعتبارها مصفي فعال، تقوم بحماية سـطح الغابـة من قدوم المواد الملوثة. وأن تضرر تيجان الأشجار من جراء تلوث الهـواء يـؤدي إلى زيـادة حجم الطبقة الهوائية القريبة من سطح الأرض والغنيـة بـالمواد الملوثـة. وأن تطـور هـذه الحالة تؤدي إلى زيادة تيارات المواد الملوثة (جزيئات صلبة وغازيـة) عـلى سـطح الطبقـة تحت التيجان في ظروف مضرة للأخشاب. وفي مثل هذه الحالات فإن تضرر النظم البيئيـة تصبح أكبر قياساً، فهذا ممكن وينعكس سلباً على وظائف النظم البيئية بشكل عام.

والأكثر تعقيداً لتأثير المتبادل ممكن مشاهدته بين تغيرات الغطاء النباتي، مصحوباً بتـأثير تلوث الهواء، والنظام المائي في منطقة تجمع المياه. وأن نتائج الملاحظة تشهد عنـد زيـادة حجـم جريان الماء في الأحواض المائية عنـد تـضرر الغطـاء النبـاتي مـن جـراء تلـوث الهـواء عـلى أراضي المنطقة التي يتجمع فيها الماء. وأن التأثير الـضار للمـواد الملوثـة عـلى الغابـة يـؤدي إلى تنـاقص استهلاك الماء في النظم البيئية. فإن مثل هذا التأثير ممكن ملاحظته بشكل إيجـابي للمنطقـة، في المناطق التي تتميز بوجود عدم كفايـة للـماء، اللازمـة للـسكان المتواجـدين في المنطقـة وكـذلك للمجـالات الـصناعية. ويـؤدي تلـوث الهـواء الجـوي أيـضاً إلى تنـاقص دور الغابـات في تنظـيم

الأحواض والمساقط المائية من حيث الجريان الذي يقوم بتغذيته. وتؤدي أيضاً إلى تناقص كمية الرطوبة في المنطقة وفي التربة خلال فصل الربيع.

وإن المرحلة التالية من التدهور أو التدمير للتربة والذي يؤدي إلى تزايد أعداد الأشجار الميتة. وتحتل مكانها أشجار تتميز بأكثر ثباتاً وتحملاً لظروف تلوث الهواء الجوي، والتي لها المقدرة في المحافظة على التربة من التدمير والانجراف. وللغابات وظائف مائية فمن الممكن أن تخرب تحت تأثير الهواء الملوث، لذا فلا يتطلب النظر إليها كمنظم لجريان المياه الهاطلة على سطح التربة. ولكن وعند النظر لوظائف الغابة فمن الضروري الأخذ في الحسبان نوعية المياه أيضاً. وأن الرطوبة أو الأمطار الهاطلة فإن لا تقوم باغناء المواد المعدنية في التربة ولكن وباحتوائها على مواد ملوثة لها القدرة في التأثير على سرعة تحلل المواد العضوية في التربة، مما تؤدي إلى زيادة سرعة عملية النترتة.

إن التغيرات التي تطرأ على الغطاء النباتي في الغابة تؤدي في أغلب الأحيان إلى اختفاء الأصول الشجرية دائمة الخضرة وظهور الأشجار عريضة الأوراق، وأن إمكانية القيام بمقارنة لقيمة ضياع إنتاجية النظام البيئي، تحت تأثير تلوث الهواء، والخسائر التي أثرت بوظائف النظم البيئية الأخرى. تزيد ردائة التربة وسوء نوعية المياه مصحوبة بتحطم وظائف الغابات بالمقارنة مع كمية ونوعية الكتلة الحية المتشكلة. إذا فإن تلوث الهواء ممكن أن يؤثر على النظم البيئية بمستويات مختلفة: تراكم المواد الملوثة في النبات، التربة، المسطحات المائية، تضرر عناصر النظم البيئية التي تستوعب المواد الملوثة، تحطم الدورات البيوكيميائية، تحطم استقرارية النظم البيئية، تحطم النباتات وخواصها، توسع الأراضي الصحراوية. فإن هذه التغيرات القادرة على إحداث الضرر خلال فترة تمتد من عدة ساعات إلى عدة سنوات. وخلال السنوات العشرين الأخيرة من القرن العشرين يلاحظ زيادة ملحوظة من خلال المساحة لتأثير تلوث الهواء الجوي على النظم البيئية. حيث سابقا كان

ينحصر في تأثير التركيز العالي للمواد الملوثة في الهـواء فقـط عـلى المـساحات القريبـة مـن المصدر، ولكن حالياً فإن تأثير التركيـز العـالي والمـنخفض للمـواد الملوثـة في الهـواء الجـوي يلاحظ في مساحات كثيرة. وإن التغيرات وصفات التـأثير تـسجل تـأثير ملحوظـاً لـلـهطول الحامضي والواسع على النظم البيئية. وإن الأكثر تأثير للتلوث يوضـح عـلى وضـع الغابـات دائمة الخضرة. الاختلاف في الحساسية لأنواع معينة من النباتات، وكذلك انحرافهـا ووجـود ردود أفعال مختلفة لنظم البيئية لتأثير تلـوث الهـواء. إن تـأثير التركيـز المـنخفض للمـواد الملوثة ممكن أن يؤدي إلى التغير في حجم إنتاجية النباتات من حيـث الكتلـة الحيـة. وفي حال كانت الأجزاء الأساسية للنظم البيئيـة تتميـز بحـساسية عاليـة لتـأثير الهـواء الملـوث كبعض الأشجار، فإن تناقص حجم الكتلة الحية لهذه الأشجار ممكن تعويضه بزيادة حجم الكتلة الحية للأنواع الأكثر استقرارية من الأشـجار أو النباتـات الأخـرى. ولكـن حتـى مثـل هذه الحالات الخاصـة بتنـاقص حجـم الأخـشاب والـذي يعتـبر ذو قيمـة اقتـصادية أكـثر للأصول الشجرية يعتبر عاملاً مهماً عند حل مشاكل إدارة الغابات.

عدا ذلك التضرر الذي يحدث لنظم البيئية من حيث طبيعتها، في خـواص الغابـات على مساحات ملحوظة فمن الممكن أن يظهر تأثير جوهري على وظائف الغابات الأخرى، مثل الخواص في حفظ التربة والتي لها تأثير على المصادر المائية التـي تغـذي التربـة وعـلى استعمالاتها عموماً.

الفصل الثالث

المواد الملوثة وامتصاصها من قبل النبات

المواد الملوثة وامتصاصها من قبل النبات

إن انتقال المـواد الملوثـة مـن الهـواء الجـوي إلى المجتمعـات الطبيعيـة أو النباتيـة الاصطناعية (الزراعية) تعتـبر عمليـة في غايـة التعقيـد وأن دراسـتها لا زالـت قليلـة. وإن الشوائب المعلقة في الهواء الجوي قد تكون من عناصر النظام البيئـي مثـل التربـة أو مـن الغطاء النباتي وذلك نتيجة العمليات الميكانيكية المختلفة.

وتعتبر العمليات الأولية لإبعاد المواد الملوثة من الهـواء الجـوي عـن طريـق التـساقط المطري، التفاعل الكيميائي، التساقط الجاف والامتصاص من الأمور المهمة. وإن سـقوط المـواد الملوثة المعلقة في الهواء ممكن أن يتحقق وذلك من خلال هطول الأمطـار وتـتم عـن طريـق امتصاص تشترك بكمية ملحوظة في التفاعل الكيميائي مع مكونات الهواء الجوي، وتؤدي بذلك إلى تشكل جزيئات أو مركبـات كيميائيـة ثابتـة، تتميـز بخـواص تفاعليـة غـير ملحوظـة. وإن ترسب الجزيئات الصلبة والمخاليط الغازية المختلفة على سطح الأرض والتي تعـرف بـالهطول أو التساقط الجاف، وامتصاص المواد الملوثة من قبل المسطحات المائية، سـطح التربـة، وأيـضاً الغطاء النباتي تنجز عملية هامة جداً وذلك بتخليص الهواء من المواد الملوثة.

تقوم أجزاء النظام البيئي في الاشتراك في عملية تخليص طبقات الهواء مـن المـواد الملوثـة المختلفة وذلك من خلال ادخار المواد الملوثة، وأن تحويل هذه المواد بعد امتصاصها مـن الهـواء ممكن أن يكون شرطاً في تحديد المقدرة والعمل كمصفاة للمواد الملوثة.

النظم البيئية الحراجية بشكل عام والنظم البيئية للغابات المعتدلـة الواسـعة عـلى درجة الخصوص تعتبر إقليمياً ومقياس عميق جوهري كمصفاة لمختلف الشوائب الدقيقة في الهواء. وإن التربة والغطاء النبـاتي الـذين يقومـان باسـتقبال المـواد الملوثـة مـن الهـواء الجوي ومن ثم ينقلان تلك المواد الملوثة إلى أرض النظم البيئية.

إن إبعاد أو إخراج الجزيئات الجوية من الهواء إلى سطح التربة أو الغطاء النباتي تحدده التيارات إلى السطح وتحسب في واحدة كتلة المادة، وأن مساحة الامتصاص تحدد السطح من خلال وحدة الزمن. هذه القيمة معقدة الشكل تتوقف على بعض مقاييس حالة الجو (سرعة الرياح، اضطرابية الجو، حرارة ورطوبة الهواء)، طبيعة وتركيز المواد الملوثة، حالة السطح (هندسيته، رطوبته) ومقاييس أو معايير أخرى. ولحسن فهم حساب تيارات هبوط أو ترسيب المواد الملوثة على السطح تقدم المعادلة التالية:

$$F = V.C$$

F- تيارات هبوط الشوائب الجوية على السطح المستقبل ملغ (سم/ ثا).

V- سرعة الترسيب أو الهبوط سم/ ثا.

C- تركيز الشوائب ملغ/ سم^3.

وإن سرعة ترسب أو تراكم المواد الملوثة على علاقة مع نوع السطح (تربة، غطاء نباتي) أو حالته (رطب أو جاف) وكذلك نوع المواد المتراكمة أو المترسبة (شوائب غازية أو جزيئات صلبة). ويتوقع أو يحتمل عند سرعة معينة لترسب 1سم/ ثا على سطح خلال 1 ثانية تمتص بشكل كامل الشوائب من الهواء الجوي المتاخم لطبقة الهواء سماكة 1سم. ويقترض أن التشكل بعد ترسب الشوائب (الصلبة) في طبقة الهواء بسرعة ومن جديد تعوض بالشوائب الجديدة. ويطلب لفهم ما سبق فمن الضروري وبوقت واحد معلومات عن سرعة الترسب، وكذلك عن تركيز المواد الملوثة. وأن التصور الرياضي السابق والخاص في حساب ترسب الشوائب على السطح واستخدام المقاييس، كان قد تم التوصل إليه عند التطور المبكر لوضع قوانين عمليات ترسب الجزيئات من الجو على السطح الطبيعي أو الاصطناعي للمجتمعات النباتية.

وإن لأرض النظام البيئي والتربة التـي تعتـبر أساسـاً دائمـاً لاسـتقبال المـواد الملوثـة نتيجة النشاط الإنساني. ترب الغابات وبفضل انتشارها والصفات الفيز-كيميائية المختلفـة ممكن أن تكون لها القدرة في القيام بدور كعامل مصفي ولاقط للمواد الملوثة. عند النظر لعمليات تخليص الجو من المواد الملوثـة (الـشوائب المعدنيـة الدقيقـة، الغازيـة)، يجـب الاهتمام بعملية ودور التربة كلاقط للمواد الملوثة.

1- تربة الغابات مدفن للجزيئات الصلبة الملوثة

تنتقل الجزيئات الصلبة لتربـة الغابـة بـشكل مبـاشر – وذلـك مـن جـراء عمليـات الترسب الجاف أو من الأمطار الحامضية، ومن شـكل غـير مبـاشر – عنـد تـساقط الأوراق والثمار وأغصان الأشجار. وإن الجزيئات الصلبة الناتجة عن مـصادر فعـل الإنـسان تتميـز بقطر حوالي -0.5 0.1 ميكرون. ويدخل في تركيـب هـذه الجزيئـات كميـات مختلفـة مـن المعادن. وفي علاقة بالظروف المناخية فإن الجزيئات الـصلبة ممكـن أن تتواجـد في الهـواء الجوي لعدة أيام أو أسبوع تبقى معلقة في الهواء. وخلال تلك الفترة فإن هـذه الجزيئـات قادرة على أن تنتقل مع الكتلة الهوائيـة إلى مئـات وحتـى آلاف الكيلـومترات مـن مـصدر انبعاثها. وإن الثبات الفيز-كيميائي للجزيئات الصلبة يسمح بحث تـرب الغابـات كحـافظ مؤقـت أو دائـم للجزيئـات الـصلبة المترسـبة عـلى سـطحها. ويلاحـظ في الـترب مكونـات ملحوظة للمعادن الثقيلة، في الطين والأجزاء الفروية العضوية للتربة.

أ- الرصاص

يتواجد عنصر الرصاص في الطبيعة بكميات ليست كثيرة في الترب، الـصخور الجبلية، المسطحات المائية وفي الهـواء الجـوي. وهـو واسـع الانتـشار في الطبيعـة، وفي الأنظمة البيئية يلاحظ زيادة محتوياته، وخاصة في المناطق التي تقوم بمعاملة واستخراج الرصـاص مـن الخامـات وكـذلك التـي تقـوم بإعـادة معاملتـه وخلطـه

ويلاحظ هذا وبشكل كبير في المراكز الصناعية والمدن وما حولها، وأن هذا العنصر يتواجد بتركيز عالي في البيئات الملوثة.

وإن المصدر الرئيسي والأساسي لتواجد عنصر الرصاص في الهواء الجوي للمدن من الغازات العادمة المنطلقة من وسائط النقل وخاصة التي تعمل على البنزين كوقود لها والمضاف له والداخل في مركباته الرصاص. وهناك مصادر أخرى وهامة تقوم بلفظ عنصر الرصاص مع المواد الملوثة السامة الأخرى وهي المصانع والمعامل والتي تعمل على حرق الفحم كمصدر للطاقة، وأن الجزيئات الصلبة الناتجة عن العمليات الصناعية والأوساخ والتي يدخل فيها عنصر الرصاص تكون صغيرة جداً من حيث الحجم فهي أقل من 0.5 ميكرون، ولهذه الجزيئات القدرة على الانتشار وبشكل واسع في الهواء الجوي. ونظراً للانتشار الواسع لعنصر الرصاص في الوسط المحيط فإن دراسته مهمة جداً وخاصة في الوقت الحاضر، وذلك من خلال دخول الرصاص وسط الطبيعة ودورته في النظم البيئية للغابات، وكذلك دخوله في الدورة الغذائية، وانتقاله للوسط المائي، ومحتوياته في التربة. وأن عنصر الرصاص يتركز في الطبقة العلوية من التربة المعدنية في المناطق الملوثة، وعادة يتغير في حدود من 10- 20ملغ/ غ من التربة الجافة. ولكن عند أجراء تحليل لتربة الغابة في المناطق الحراجية المختلطة تظهر زيادة محتويات الرصاص فيها. حيث هناك مصدر إضافي لدخول عنصر الرصاص في التربة ممكن أن يكون عن طريق تحلل أوراق الأشجار في التربة، مما يؤدي إلى زيادة محتويات الرصاص في المركبات العضوية. في المركبات العضوية. وأن للرصاص تكافئ ثنائي يدخل التربة مع مياه الأمطار، والهطول الجاف، والذي له المقدرة على الاتصال مع المواد العضوية المتراكمة على سطح التربة في الغابة. مما يؤدي إلى القيام بتفاعل مع أيونات حامض الكبريتوز، حامض الفسفوريك أو الكربونات التي ممكن أن تنتقل وتشكل مركبات غير منحلة إشارة لمركباته ومركبات عضوية

متراكمة في مختلف طبقات التربة الحراجية. ويلجئ الرصاص المتواجد في مستوى التربة العضوية ويستمر حتى 5000 سنة. لذلك فعند زيادة الرصاص المتراكم على سطح تربة الغابة يؤدي إلى تراكمه في التربة وبكميات ملحوظة. وإن الأبحاث التي أجريت عن تلوث الوسط الطبيعي وحالة الغابات في وسط ولاية New Hampshire على ارتفاع 230-1100م من سطح البحر في أمريكا، وأن المناطق الحراجية التي أجريت عليها الأبحاث تحتوي على أصول شجرية مختلفة:

Acer Saceharum، Fagus grandifolia، Betula lutea وكمية ليست كبيرة من Picea rubeus وAbies balsamea والنتائج التي حصلت عليها تؤكد أن المتوسط السنوي لتراكم الرصاص على السطح تصل إلى 226غ/هـ وكذلك يدفن من الرصاص في النظم البيئية الحراجية على السطح وفي المياه الجوفية كمية حوالي 6غ/هـ والاختلاف الجوهري للقيمة الداخلة والخارجة مع التيارات الرصاص تؤكد فعالية التراكم في التربة. وإن متوسط الرصاص على سطح الغابة، كان يساوي 89ملغ/ غ، وأن كمية الرصاص على السطح تكون 9كغ/هـ والقيمة التي حصل عليها لمكونات الرصاص في التربة تزيد بالمقابل للقيمة في المناطق الغير الملوثة.

وإن الأبحاث التي أجريت في الولاية الأمريكية المذكورة على عملية تراكم الرصاص في ترب الغابات، سمحت بتحديد معرفة هبوط تيارات الرصاص من الهواء الجوي إلى أرض الغابة. وقد توصلت إلى تحديد كمية الرصاص بحوالي 200غ/هـ/ سنة. ولكن في منطقة أخرى من نفس الولاية.

وإن دراسة دورة الرصاص في غابة البلوط Quercus infectoria في ولاية تينسي في أمريكا على بعد 14 كم من تواجد محطة توليد الطاقة الكهربية والتي تعمل على الفحم الحجري كوقود لها، قد سمحت تحديد تيار الرصاص إلى

مستويين علويين لطبقة تربة الغابة: ففي الطبقة الأولى O_1 فإن شكل الأوراق المتساقطة كانت لا زالت مختلفة، والثانية O_2 الأوراق قد فقدت شكلها. وفي نفس الوقت تم قياس محتويات الرصاص في أنسجة الأشجار. وأن الطبقة العلوية من التربة (O_1 وO_2) تحتوي 13% فقط على مواد عضوية، مدخر حوالي 71% رصاص بجميع النظم البيئية. وأن الرصاص في المنطقة التي تكون أكثر عمقاً من O_2 من طبقات التربة كميته ملحوظة وتحتوي 182غ/هـ/ سنوياً.

عند تنفيذ برنامج البيولوجيا العالمي فقد تم تحليل الرصاص في ترب غابات Fagus picea , في ألمانيا، وهذه الغابات تعتبر نموذج للنظم البيئية الواسعة الانتشار في وسط أوروبا. وكانت الغابة المقترحة تتوضع في منطقة غير ملوثة نسبياً، ولكن وجد كمية ملحوظة من الرصاص على سطح الغابة بالجهة التي يأتي منها الرصاص. وقد وجد أن كمية الرصاص على سطح التربة تحت تيجان أشجار Fagus حوالي 365غ/هـ/ سنة، بينما تحت تيجان أشجار Picea حوالي 756غ/هـ/ سنة. بينما المناطق المكشوفة من الغابة والمعرضة لتساقط الرصاص مع الأمطار فكانت لا تزيد عن 405غ/هـ/ سنة. ونتيجة تنفيذ العمل المذكور تؤكد القيمة الملحوظة لتربة الغابة ودورها في التقاط الرصاص من الهواء الجوي. وفي المناطق المعرضة بشكل مباشر أو القريبة من مصدر انبعاث الرصاص في الهواء الجوي، يتجمع الرصاص في تربة الغابة ويمكن أن يؤدي إلى زيادة ملحوظة لتركيزه في التربة.

وإن تحديد مكونات الرصاص في التربة على عمق (0- 2سم) في منطقة تبعد 1-2كم عن المنشآت التي تقوم بصهر الرصاص، فقد تبين أنه في الطبقة العليا من التربة تحتوي على 4,64ملغ/غ. وأكثر من ذلك الكمية قد لوحظت في الطبقة العلوية من التربة في الأراضي القريبة من الطرق العامة لوسائط النقل وخاصة الشاحنة منها.

وهكذا فإن تركيز الرصاص في طبقة علوية سماكتها 5سم تحتوي على رصاص 21ملغ/ غ (متوسط تحليل عينات ترابية قرب تقاطع طرق سيارات في 65 منطقة أمريكية). وأن الغازات العادمة لوسائط النقل تحتوي على كميات كبيرة من الرصاص، أدى إلى وجود مناطق ملوثة وبمساحات كبيرة قرب الطرق. وعلى طريق طوله 1كم يتواجد وبشكل دائم في الهواء الجوي حوالي 80ملغ رصاص في أنواع مكونات عضوية. في الولايات المتحدة الأمريكية فإن متوسط مساحة الأراضي والتي تحت تأثير الطرقات وبشكل مباشر حوالي 3.10^7هـ لذلك فإن الترب الزراعية والتي تحت التأثير فإنها تحتوي على كمية ملحوظة من الرصاص، لهذا فلا يمكن اعتبار أن هذه المنطقة أو تلك من حيث درجة التلوث لا تؤثر على حالة النبات والنظم البيئية لهذه المناطق. ونتيجة تحليل العينات الترابية والتي أخذت على أبعاد مختلفة من طرق وسائط النقل، فقد ظهرت أن كمية الرصاص في العينات تزيد 30 مرة عن تركيز الرصاص بالمقارنة مع محتوياته (20ملغ/غ) في الترب غير الملوثة. على بعد (5- 10م) من الطريق فإن تركيز الرصاص يتناقص من 2 حتى 6 مرة. وعند زيادة البعد من الطريق حتى 20 م وأكثر من ذلك يلاحظ أن مكونات الرصاص متواجدة بشكل دائم في التربة وعند مستوى معين.

وعند تساقط الجزيئات الصلبة المحتوية على شوائب معدنية دقيقة (مثل الرصاص) على التربة فهي قادرة في المستقبل:

1. تمتص أو تدخل في جزيئات التربة.
2. تترسب في أشكال مركبات غير ذاتية.
3. تنتقل بصورة محلول أرضي مشبع لطبقات الأكثر عمقاً من التربة.
4. تؤثر على حيوانات التربة أو الأحياء الدقيقة، وتحولهم إلى تحلل أو تفكك المركبات المعدنية.

5. تمتص من قبل جذور النباتات.

وعند النظر لتحولات الرصاص في ترب الغابات فإن العمليات 5,3 تعتبر غير جوهرية، ولكن الأكثر أهمية في هذه الحالات العمليات 2,1. مع العلم أن كمية الرصاص التي تتساقط على ترب الغابات تكون حوالي 200- 400غ/هـ/ سنة في مناطق شرق الولايات المتحدة الأمريكية. وأن زيادة تركيز الرصاص في التربة يصبح ذات تأثير سام جداً على النباتات وذلك عندما يتعدى الرقم 600ملغ/ غ من التربة الجافة. وأن مثل هذا الرقم لمستوى تركيز الرصاص لوحظ في ترب الغابات ولكن لمساحات ليست كبيرة، والتي تعتبر القريبة من مصدر انبعاث الرصاص (المراكز الصناعية، طرق وسائط النقل)، رافق ذلك امتصاص غير ملحوظ للرصاص من قبل المجموع الجذري للأشجار، هذا العنصر من الناحية البيولوجية يتطلب اعتباره قليل النشاط والفعالية، وغير قادر على إظهار تأثير مباشر مميز على حالة الغابات.

ب- العناصر الصغرى الأخرى

ترب الغابات فهي ليست مدفن لعنصر الرصاص وإنما للعناصر الصغرى الأخرى. ولهذه العناصر تأثير بيولوجي مهم عند تراكمها في طريق جفاف النظم البيئية. وينتمي لهذه العناصر كل من الكادميوم، النيكل، النحاس، الفلور، التلوريوم، الفانديوم، التوتياء، الكوبلت، الموليبدنوم، التنجستن، الزئبق، السيلينيوم وكذلك المنغنيز والكلور والحديد.

وإن التأثير المتبادل للكمية الملحوظة لتواجد العناصر السابقة الذكر لها تأثير مختلف على النباتات من تأثير الرصاص حيث أن بعض هذه العناصر مثل الحديد، المنغنيز، التوتياء، النحاس، الموليبدنوم ففي حالة تواجدها بكميات قليلة فهي ضرورية للنمو الطبيعي والتطور عند النبات. بينما العناصر الأخرى مثل

الكادميوم، النيكل، التنجستن، التلوريوم تتميز في المقدرة العالية على التحرك في النبات. وأن الكادميوم والنيكل والفلور والتلوريوم والموكيبدنوم والزئبق والنحاس تتميز بالقوة العالية السمية للنبات.

في الوقت الحاضر عملياً لا تتوفر معلومات عن دور الغابة وتربتها باعتبارها كمصفاة ومدفن للعناصر الصغرى السابقة الذكر. وللمقارنة بين مكونات العناصر الصغرى في ترب الغابات بالمناطق الغير ملوثة وفي المناطق المعرضة لتأثير التلوث بالعناصر المنطلقة من مصادر الإنسان، فيمكن الخروج باستنتاج خاص بتراكم وترسب في التربة كل من التوتياء، النحاس، الكادميوم، النيكل، المنغنيز والحديد والذي يؤدي في النهاية إلى زيادة تركيز المعادن الثقيلة في التربة. وأن هذه الظاهرة مؤكدة ويمكن ملاحظتها في المناطق الحراجية والغابات المتواجدة على بعد ليس كبير عن المدن الكبرى والمراكز الصناعية المختلطة سواء كانت الضخمة منها أو الصغيرة، ومثال على ذلك المناطق المحيطة لمدينة شيكاغو المراكز الصناعية والتي تحتوي على مؤسسات التعدين في ولاية بنسلفانيا الأمريكية. ولكن والأهم من ذلك أن هناك زيادة في تركيز العناصر الصغرى في المناطق البعيدة ولعدة كيلومترات عن مصدر المواد الملوثة في الهواء الجوي ومن ثم في التربة.

وإن تواجد العناصر الصغرى أو المعادن الثقيلة في ترب الغابات وعلى أغصان وأوراق الأشجار فهو تعبير عن مقياس هام عند تقدير فعالية هذه الغابات وتربها في تصفية ودفن العناصر الصغرى. وقد قام Tyler.G بدراسة تصويل أو غسل التربة من بعض العناصر أو المعادن (منغنيز، توتياء، كادميوم، نيكل، فانديوم، نحاس، كروم ورصاص) لعينات تربة أخذت من غابتين واحدة في مناطق تنتشر فيها منشآت التعدين وكذلك أخرى غير متواجد شيء فيها وهي بعيدة عن مصادر المواد الملوثة. وأن العينات الترابية التي درست خاضعة لظروف الري الاصطناعي بطريقة الماء المتساقط. حيث تميزت العينات باختلاط الحموضة (PH=

2,8، 3,2، 4,2). وعند تنفيذ التجربة مع استخدام طريقة الري الاصطناعية السابقة الذكر فكان PH = 4,2 (قيمة PH هطول الأمطار، وهي باستمرار تسجل في شمال - شرق أمريكا وشمال أوروبا)، وقد لوحظ ولوقت ملحوظ تزايد العناصر الصغرى في الترب، خاصة في عينات الترب الملوثة.

يجب التأكد أن ترب الغابات ومعها الطبقة العضوية العلوية تعتبر مختلفة الفعالية كمصفاة ومدفن للعناصر التوتياء، الكادميوم، النحاس، النيكل، المنغنيز، الفانديوم والكروم التي تنصب إلى التربة من الهواء الجوي. في الوقت الحاضر فإن وضع تقدير وأهمية نسبة نهائية لعمليات تراكم المعادن في الترب، وكذلك الفعالية النسبية لمختلف أنواع الترب بعلاقة هجرة أو انتقال العناصر في الوسط الطبيعي تعتبر غير كافية القواعد، وذلك لغياب معلومات عن مكونات المعادن، وحركتها في مختلف الترب.

جـ- الجزيئات الصلبة الأخرى

بعض النظم البيئية الحراجية في الولايات المتحدة الأمريكية تتساقط عليها كبريتات سنوياً حوالي 10- 20كغ/هـ ولكن للنظم البيئية الحراجية حيث عملياً لا تتوفر معلومات عن دورة الكبريت البيوكيميائية. ولكن هناك عمل واحد يتناول تلك الدورة للكبريت لمختلف أنواع الغابات في المناطق الشرقية لولاية تينسي الأمريكية. حيث أن المتوسط السنوي لتساقط أو هطول الكبريتات على ترب الغابات حوالي 18كغ/هـ وفي هذه المناطق فإن تقريباً 82% من الكبريتات تدخل التربة مع مياه الأمطار أي الأمطار الحامضية وفقط 18% عن طريق التراكم أو الترسب أو بالأحرى الهطول الجاف. وأن قسم كبير الداخل في التربة من الكبريت 64% يخرج من التربة مع التراب والماء السطحي.

وأن كمية الكبريتات المتراكمة في التربة في مناطق شرق ولاية تينسي الأمريكية حوالي 6,6كغ/هـ/ سنة وهناك زيادة ملموسة تقابل القيمة التي حصلت عليها ترب الغابات في New Hampshire حوالي 1,1كغ/هـ، وقيمة تبلغ في مناطق غابات ولاية Carolina 7,6كغ/هـ/ سنة. مع العلم أن 65% سنوياً تتساقط من الكبريتات وتتراكم في التربة. وباختلاف عن المعادن أو العناصر الصغرى فإن 92% من الكبريت يتمثل في طبقات التربة المعدنية وفقط حوالي 3% في مستوى الطبقة العضوية.

2- تربة الغابات مصفاة ومدفن للغازات الجوية الملوثة

المعلومات المتوفرة عن وظائف ترب الغابات ودورها كمصفاة ومدفن للغازات المختلفة الملوثة للهواء الجوي محدودة. وأن دراسة هذه المشكلة مهمة جداً، وقد بدأت فعلاً في السنوات الأخيرة من القرن العشرين. ومن الطبيعي أن هذه الترب محدودة الاستيعاب وذلك بعلاقة مع امتصاص مختلف الغازات والشوائب المتواجدة في الهواء الجوي، وأن التأثير المتبادل للغازات ودورتها مع سطح التربة أو داخلها يكون على حساب العمليات البيولوجية، الفيزيائية أو الكيميائية في التربة.

أ- أكسيد الكربون

يتشكل أكسيد الكربون عند احتراق أي نوع من أنواع الوقود الهيدروكربونية نتيجة التأكد غير الكامل للكربون. تنبعث الأكاسيد الكربونية نتيجة نشاطات الإنسان المختلفة من الصناعة أو وسائط النقل أو الحرائق وكوارث بيئية بالإضافة ما تطلقه الطبيعة. وإن حجم انبعاث هذه المخاليط في الهواء الجوي حول الأرض يكون حوالي 6.10^{14}غ سنوياً. وإن المصدر الأساسي للتلوث بأكاسيد الكربون

تعتبر الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان. وإن الأكاسيد الكربونية في القسم الشمالي من الكرة الأرضية أعلى مما هي عليه في القسم الجنوبي.

وإن الكمية العظمى لتواجد أكاسيد الكربون في الهواء الجوي تصل في الشتاء، أما الدنيا – صيفاً. وخلال السنوات الأخيرة من القرن العشرين، لوحظ زيادة مستوى تركيز أكاسيد الكربون في طبقة الهواء الجوية المحيطة بالأرض شتاءً، وفي نفس الوقت فإن تركيز أكسيد الكربون صيفاً في الهواء الجوي عملياً لا تتغير من سنة لأخرى. أما في المناطق البعيدة عن مصادر التلوث في الأكاسيد الكربونية تبقى شبه ثابتة.

بفرض أنه لوحظ تناقص تركيز أكاسيد الكربون في الهواء بشرط تأثير العوامل التالية:

1. امتصاص سطح المحيطات لأكسيد الكربون.
2. يتأكسد في الهواء الجوي قسم من الهيدروكسيد ويتشكل ثاني أكسيد الكربون.
3. ينتقل أكسيد الكربون إلى الستراتوسفير وذلك من خلال استهلاك أكسيد الكربون في عمليات الكيمياء الضوئية.
4. التأثير المتبادل مع المركبات الدهنية منتجات النشاط اليومي للحيوانات.
5. امتصاص التربة.
6. تثبيت أكسيد الكربون النباتات الراقية.

في ضوء ما تقدم به سابقاً عن ديناميكيـة أكـسيد الكربـون في الهـواء الجـوي فـإن جوهر المصيدة أو المدفن لهذا المركب يعتبر امتصاصه مـن قبـل التربـة وتثبيتـه مـن قبـل النباتات الراقية.

وإن التجارب التي تمت باسـتخدام الكربـون ذو الفعاليـة الإشـعاعية، توصـلت إلى أن امتصاص أكسيد الكربون من قبل أوراق النبات الـصويا يحـدث لـيلاً ونهـاراً. وعنـد اسـتخدام أنواع أخرى من النباتـات فـإن امتـصاص التركيـز المـنخفض لأكـسيد الكربـون يـتم نهـاراً. وأن امتصاص أكسيد الكربون من قبل البقوليات لمعرفة مقدرة هـذه النباتـات كمـصيدة ومـدفن لأكسيد الكربون من السطح تبين أن النبات يستهلك حوالي (12- 120)كغ/كـم^2 يوميـاً حـوالي (30.3)[18]. 10 طن خلال السنة. أن الدور الهام للأحياء الدقيقة في التربـة في ميكانيكيـة ابـتلاع أكسيد الكربون الجوي، واستطاعة مختلف أنواع الأتربة على امتصاص أكسيد الكربـون، فقـد أجريت تجربة في ظروف مخبرية لكل ترب من كاليفورنيا وفلوريدا. ونتيجـة البحـث تبـين أن الترب الطبيعية تتميز بخواص كبيرة لامتصاص أكسيد الكربون مما هو عليه لدى الـترب التـي سبق استخدامها، وأن زيادة محتوى المركبات العضوية في التربة وتناقص PH التربة يـؤدي إلى زيادة فعالية التربة في امتصاصها لأكسيد الكربون من الهواء الجوي. وأن النتائج السابقة تؤكد الأهمية الكبيرة لترب الغابات في عمليات امتصاص ودفن أكسيد الكربون من الهواء الجوي.

وعند استخدام غرف مخبرية خاصة حجمها 1م^3 ووضع ضمنها ترب مختلفة وخـلال التجربـة تم قياس وبشكل مستمر تركيز أكسيد الكربون، حيث لوحظ تغير كمية أكسيد الكربون الممتص مـن قبل التربة على اختلاف أنواع الترب وكانت الكمية تتراوح بين (7,5- 109ملغ/م^2/ سـاعة) وتؤكـد ذلـك المعطيات أن الترب التي سبق استخدامها في الزراعـة أو التـي أجـرى عليهـا عمليـات خدمـة مختلفـة كانـت أقـل نـشاطاً في عمليـة امتـصاص أكـسيد الكربـون مـن الهـواء الجـوي، مـما هـو عليـه لـدى

الترب الطبيعية. وأن النتائج تؤكد فعالية ترب غابات البكر كمصفاة ومدفن لأكسيد الكربون. النتائج السابقة تسمح لنا بإمكانية تقدير سرعة التقاط أكسيد الكربون من الهواء الجوي وذلك من خلال امتصاصه من قبل الترب ليس فقط في الولايات المتحدة الأمريكية ولكن وغيرها: فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية تقوم الترب بامتصاص 505 مليون طن. وهذا يؤكد أهمية ترب الغابات وخاصة غابات المناطق المعتدلة والاستوائية في عملية امتصاص والتقاط أكسيد الكربون من الهواء الجوي بشكل واسع.

ب- ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين

أهميتهم كبيرة وسط مكونات أجزاء تربوسفير (الطبقة السفلى) للهواء الجوي يعتبر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، كربونيلات الكبريت (Cos)، ثاني كبريتيد الكربون (CS_2)، ميثيل كبريتيد ثنائي (CH_3SCH_3)، (CH_3SCH_3) وفلوريد الكبريت السداسي (SF_6). وإن المكونات الأكثر أهمية للكبريت المتواجدة في الهواء الجوي هي ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين وأملاح حامض الكبريتيك. ومقدرة التربة على القيام بعملية التقاط أو امتصاص الغازات والمركبات الكبريتية المتواجدة في الهواء الجوي حيث تقوم أكثر وبدور أكبر بامتصاص ثاني أكسيد الكبريت وجزيئات أملاح حامض الكبريتيك. والعوامل التي تؤثر في مقدرة الترب على عملية امتصاص ثاني أكسيد الكبريت هي الزيادة النسبية في مكونات المادة العضوية في التربة، المحتوية على أكسيد كربونات الكالسيوم، رطوبة التربة، حموضتها والكائنات الحية المجهرية في التربة.

وإن درجة امتصاص ثاني أكسيد الكبريت من قبل الترب مختلفة حسب الخواص الفيزيائية والكيميائية للترب، وأن مقدرة الترب على امتصاص أو التقاط

العنصر أو المركب المذكور وكذلك كبريتيد الهيدروجين يحدث بسرعة أكبر مما هو عليه من عملية امتصاص التربة لأكسيد الكربون.

الأكاسيد الأزوتية والغازات الأخرى المحتوية على الأزوت أكسيد الأزوت يمكن أن يتأكسد في الهواء الجوي ويتحول إلى ثاني أكسيد الأزوت أو حتى يتحلل بالضوء ويشكل أزوت وأن ثاني أكسيد الأزوت يدخل في تفاعلات الكيمياء الضوئية أو ينفصل من الهواء الجوي مع الأمطار في شكل أحماض أزوتية.

إن أكسيد وثاني أكسيد الأزوت ممكن أن يخرج من الهواء الجوي عن طريق عمليات الترسيب الجاف على سطح اليابسة. وأكسيد الأزوت يمكن أن يتأكسد في التربة ثاني أكسيد الأزوت، السبب في أن الترب ذات الحموضة العالية تجعل أكسيد الأزوت، أقل ثباتاً مما هو عليه في الترب القلوية. وقد وجدت هذه الترب في ولاية ماساشوستس، وأن سرعة خروج ثاني أكسيد الأزوت من الهواء الجوي أقل مما هو عليه عند أكسيد الكبريت. وفي ظروف تنفيذ التجارب على تركيز ثاني أكسيد الأزوت في الهواء الجوي فإنه يتناقص من 18,8. 10^4 حتى 5,64. 10^3 ملغ/م^3 خلال 24ساعة. وإن هذه المعطيات أو النتائج المخبرية تسمح بإمكانية امتصاص ثاني أكسيد الأزوت من قبل الترب على مساحات كبيرة من الولايات المتحدة الأمريكية حوالي 6. 10^{11} كغ/ سنوياً من ثاني أكسيد الأزوت. وإن عملية تعقيم أو عدم تعقيم التربة فهو عامل كافي في عملية امتصاص ثاني أكسيد الأزوت. وهناك تجارب أجريت على ترب غير مستعملة سمحت التوصل إلى أن الأزوت داخل الغرف المخبرية الخاصة قد امتصته التربة بنسبة 99% من ثاني أكسيد الأزوت خلال 15 دقيقة وعند حرارة 25م°.

وإن آلية امتصاص ثاني أكسيد الأزوت الهواء الجوي من قبل التربة ممكن أن تبدأ عند تفاعل هذه الغازات هذه الغازات مع كيتونات المعادن القلوية المتواجدة

في التربة، ويؤدي إلى تشكيل نتراتيات (أملاح حامض الأزوتيك) مع البوتاسيوم والصوديوم، ومع ماء التربة، وهذا يؤدي إلى تشكيل نتروجين وحمض آزوتي، ومع المركبات العضوية في التربة. عدا ذلك فإن تواجد ثاني أكسيد الأزوت بشكل غازات مختلفة ممكن تواجده في الفراغات الهوائية بين جزيئات التربة. وعادة فإن النشادر يتواجد في الهواء الجوي على شكل أنواع أملاح حامض الكبريتيك، فإن امتصاص التربة لمختلف غازات النشادر، لا يلعب دوراً جوهرياً في التقاط وتثبيت مكونات الأزوت من الهواء الجوي. وإن التربة الأكثر فعالية في تثبيت مكونات الأزوت من الهواء الجوي والانفصال عنه هي الترب الحامضية.

جـ- هيدروكربونات

هيدروكربونات، سيئة الانحلال في الماء، لذلك عند دراسة أخراجه من الهواء الجوي من قبل التربة فمن الضروري حساب قبل كل شيء القنوات الميكروبيولوجية التي تستهلك الهيدروكربونات في التربة. وإن تواجد الهيدروكربونيات في الغازات العادمة لوسائط النقل والتي ينسب لها الأيثيلين (هيدروكربون غير مشبع). فإن هذا الغاز فعاليته كافية للخروج من الهواء الجوي من خلال عمليات التأثير المتبادل مع التربة. وأن سرعة امتصاص التربة للإيثلين أقل مما هو عليه لثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الأزوت. ففي الولايات المتحدة الأمريكية فإن كمية الأيثيلين التي تمتصها الترب من الهواء الجوي عن طريق الكائنات الحية الدقيقة حوالي 7.10^9كغ/ سنوياً. وإن سرعة امتصاص الأستيلين من سطح التربة تتغير من 0,24 حتى 3,12 مول/غ/ يومياً. وإن خاصية امتصاص الأستيلين من الهواء الجوي حيث تكون أكثر فعالية في الترب الحامضية، التي تحتوي على كمية ملحوظة من المواد العضوية (ترب الغابات).

د- المؤكسدات

إن تدمير الأزون على سطح التربة والغطاء النباتي تعتبر عملية أكثر جوهرية في تحطيم الأزون في الهواء الجوي للأرض. وإن كمية الأزون التي تدمر سنوياً (1,3- 2,1)[12]. 10كغ وأكثر من ذلك من الهواء الجوي وذلك من حساب التأثير مع التربة والنباتات.

هـ- الغازات الأخرى

في تجربة أجريت مخبرياً لمعرفة قدرة الترب على امتصاص بخار الزئبق وذلك باستخدام عينات من ترب مختلفة أخذت من ولاية مونتانا الأمريكية. وتعرضت العينات الترابية لمخلوط غازي اصطناعي حجمه 1م^3 يحتوي على 75,9ملغ/ زئبق معدني (Hg^{203}). وقد أظهرت التجربة أن الترب التي تحتوي على كمية ملحوظة من المواد العضوية هي الأكثر فعالية في عملية التقاط الزئبق من الهواء. وإن مشكلة تلوث الوسط المحيط ببخار الزئبق تعتبر مشكلة محلية. مع العلم أن 90% من الزئبق ينطلق نتيجة احتراق الفحم الحجري والذي يلقى بمخلفات الاحتراق في الهواء الجوي. بنفس الوقت لا يهم مدى انخفاض الزئبق ومكوناته في الفحم.

ترب الغابات تعتبر ذات أهمية كبيرة في التقاط مختلف المواد الملوثة المتواجدة في الهواء الجوي. وإن ما سبق من ظواهر يؤكد ذلك الدور. وإن تجمع الجزيئات الصلبة من مكونات الرصاص في الطبقة العضوية من التربة والتي تحملها التيارات الهوائية الملوثة للنظم البيئية لغابات المناطق الاستوائية والمعتدلة والقريبة من مصادر التلوث سواء كانت مدن كبيرة أو مراكز صناعية وطرق عامة وفرعية لوسائط النقل حوالي 200- 400غ/هـ من مخلوط الرصاص تترسب على السطح حيث تتراكم في الطبقة العلوية لترب الغابة التي تحتوي على مواد عضوية. بعض الترب

في مناطق الغابات تعتبر مصيدة وذات فعالية كبيرة ولكن أقل كمية مما تقوم به في إمساك الرصاص مثل الكادميوم، النحاس، النيكل، المنغنيز، الفاناديوم والكروم. إن مختلف الغازات الملوثة لها القدرة أن تخرج من الهواء وتدخل التربة بواسطة وبمساعدة الأحياء الدقيقة المتواجدة في التربة، وأن العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث في ترب الغابات وكذلك ترب الغابات كانت طبيعية أو اصطناعية لها دور فعال في جذب والتقاط أكسيد الكربون وكذلك تقوم بتنظيم دورة محتويات هذا الغاز في الهواء. أما الغازات الأخرى مثل ثاني أكسيد الكبريت، النشادر، بعض الهيدروكربونيات، بخار الزئبق فإن ترب الغابات لها القدرة على امتصاصها.

3- الغطاء النباتي الحراجي وجذب الجزيئات الصلبة

الغطاء النباتي هو القسم الأساسي للنظم البيئية الحراجية، مساوياً لتربة الغابة ويعملان معاً في عملية التقاط المخاليط المختلفة من الشوائب المتواجدة في الهواء الجوي. وهكذا فإن الترب الحراجية تقوم أيضاً بامتصاص المواد النباتية الملوثة من الهواء وتعتبر بحد ذاتها ظاهرة معقدة، تدخل ضمنها مختلف العمليات البيولوجية، الفيزيائية والكيميائية. وإن دراسة إمكانية امتصاص النبات للمواد الملوثة المعلقة بالهواء فقد قام بدراستها كثير من العلماء وخاصة في السنوات الأخيرة من القرن العشرين. وكانت أغلب الدراسات تؤكد الدور الهام والمفيد للغطاء النباتي في تنقية الهواء من الشوائب العالقة في هواء المدن الكبرى والمراكز الصناعية.

وإن الجزيئات الصلبة قادرة أن تتراكم أو تترسب على سطح الغطاء النباتي وذلك تحت تأثير عمليات أساسية ثلاثة: التثقيل وذلك من خلال تأثير قوة الجاذبية، التصادم مع السطح عند النقل الاضطرابي للكتلة الهوائية على سطح النبات، التراكم مع الأمطار. وإن الترسب هو قاعدة شرطية لتراكم الأجزاء

الكبيرة على السطح العلوي للنبـات. وهـذه العمليـات هامـة عنـد انجـذاب الأجـزاء ذات المقاييس الكبيرة الحجم مـن الهـواء. وإن وحـدة الـسرعة تتوقـف عـلى كثافـة الجزيئـات وشكلها وعوامل أخرى. وإن تصادم الجزيئات الملوثة مـع سـطح النبـات يحـدث عنـد انـسياب تيارات الهواء العائقة، فعند هذا التأثير الهوائي تنقسم إلى عدة أقسام. وعند التأثير المتبادل للتيار الهوائي وسطح النبات فإن الجزيئات التي يحملها الهواء تحافظ على اتجاه مستقيم الحركة حتى اصطدامها بالعائق. وإن فعالية تراكم الجزيئات على السطح العائق تـزداد مـع تنـاقص مقيـاس المجمع وزيادة قطر الجزيئات. وإن آلية الترسـيب للجزيئـات الـصلبة مـن خـلال التـصادم مـع السطح ظاهرة موجودة في حالات، إذا كانت الجزيئات الصلبة ذات قيـاس عـشرات الميكرونـات أو أكثر، وسطح التجمع لا يتجاوز عدة سنتيمترات، سرعة الجزيئات تكون عـدة أمتـار في الثانيـة وأكثر، إذا فإن السطح الذي يحدث عليه التصادم رطب، لاصـق فـإن الـتراكم ينمـو وأن الأجـزاء النباتية الأكثر فعالية في إمساك الجزيئات من الهواء هي عروق الأوراق أكثر مما هـو عليـه مـن سطح الأوراق أو أفرع النبات. وإن الجزيئات ذات القياس (1- 5 ميكـرون) فمـن خـلال التـأثير المتبادل مع الغطاء النباتي، يمكن الإمساك بها أو توقفها بواسطة الشعيرات الصغيرة لبعض أجـزاء النبات. وأكثر فعالية من حيث الـتخلص منهـا هـي عمليـة الغـسيل بواسـطة ميـاه الأمطـار. إن عملية ترسب أو تراكم الجزيئات على الأجزاء النباتية المختلفة تتم عن طريق الهبوط من الهـواء الجوي. وفي هذه الحالات عندما تكون أجزاء السطح رطبة أو لزجة فإن عملية هبوط الجزيئات من الجو والتصاقها أكثر فعالية. وبالنسبة للنباتات التي تنمو بالقرب أو في طريق هبوب الريـاح مـن البحـار والمحيطـات تتجمـع الأمـلاح عـلى سـطح الأجـزاء النباتيـة المختلفـة. وإن جزيئـات نتراتيات، كبريتات، فلور المنحلة في القطرات الغيرة للماء (الضباب) بشكل فعال يلتقطهم النبات من الهواء الجـوي. وإن سرعـة ترسـب الجزيئـات الـصغيرة الحجـم المتواجـدة في الهـواء والتـي

قياسها أقل من 1ميكرون فإن جوهر سرعة ترسبها أقل من الجزيئات والتي قطرها يتراوح بين -20- 40 ميكرون، مثل حبوب اللقاح وأبواغ النباتات. عدا ذلك حبوب اللقاح والأبواغ، يوجد جزيئات في الجو قياسها أكثر من 10ميكرون، تشترط عمليات ميكانيكية للانجراف الهوائي للتربة، قطرات مياه البحار وأن الجزيئات التي قطرها حوالي 1- 10ميكرون مثل الغبار تتشكل نتيجة عمليات الاحتراق التي تحدث أو تتم في العمليات الصناعية. وعمليات تكثف الغازات في الهواء الجوي ممكن أن تؤدي إلى تشكل جزيئات قياسها 0.1- 1ميكرون. وفي ظروف اختلاف عناصر الطقس، فإن الجزيئات الصلبة ذات المصادر المختلفة على تأثير متبادل مع سطح الغطاء النباتي مما يؤدي إلى علاقة معقدة.

إن التنبؤ عن أهمية دور الأشجار كمصيدة لالتقاط الجزيئات الصلبة من الهواء الجوي تؤكده كثير من نتائج البحوث التي نفذت على مختلف الجزيئات ومن ضمنها الجزيئات المشبعة، الأبواغ وحبوب اللقاح، الغبار، الأمطار، أملاح البحار والمحيطات وأجزاء أخرى.

أ- الجسيمات المشبعة

يتطلب توجيه الاهتمام إلى مسألة الانتشار الحالي للمواد المشبعة، والتي تنطلق إلى الهواء الجوي نتيجة التجارب النووية، لذلك يتطلب معرفة عن كمية المواد المشبعة المتواجدة وتحديد كثافتها وتيارات اتجاهاتها فكل ذلك في غاية الأهمية. ولكن الوسيلة الوحيدة المتوفرة للتخلص من الجسيمات المشعة المتواجدة في الجو فقط ظاهرة امتصاصها من قبل الغطاء النباتي. وإن عمليات ترسيب جزيئات الكوارتز والتي قياساتها تتراوح بين 88- 175 ميكرون والتي تحتوي على سيزيوم مشع واستقرارها على كل من pinus strobus وQuercus rubra قد وضح في البداية ترسب الجزيئات المتواجدة في الهواء على أوراق كل من البلوط وكانت

حوالي 35% وعلى الصنوبر 24% ولكن وبعد مرور ساعة واحدة من التأثير فإن أوراق البلوط تفقد 91% من الجزيئات الصلبة، وفي نفس الوقت فإن الأوراق الإبرية للصنوبر تفقد فقط 10% من الكمية للجزيئات الصلبة من البداية. وعلى تاج الصنوبر فإن الجزيئات الصلبة بقيت، واستقرت عند أساس البراعم للأوراق الإبرية، أما على أوراق البلوط – قد ابتعدت عن عروق الأوراق ولكن عند القاعدة الأساسية، لتغطي هذه المنطقة من الأوراق.

وإن فترة حياة الجزيئات على سطح النبات تكون 1-7 و7- 33 يوم حسب نوع سطح الأوراق، التي يتم عليها تراكم الجزيئات. للأوراق الإبرية للصنوبر فإن هذه الكمية تتغير في مجال 0,25- 21 يوم، أما الأوراق البلوط في 0,21- 25يوم. إن ضياع الجزيئات الصلبة من سطح النبات يحدث قبل كل شيء من خلال تأثير الهواء والأمطار.

ب- جسيمات المحتويات المعدنية

جسيمات الشوائب المعدنية فإنها غالبا ما تكون من المعادن الثقيلة وهي متواجدة في الهواء الجوي كجزيئات صغيرة الحجم. وأن هذه الجسيمات المعدنية تنتقل من المناطق والمراكز الصناعية وكذلك الجزيئات المنطلقة مع مخلفات وسائط النقل فإنها تنتقل إلى مسافات كبيرة وتنتشر على مساحات شاسعة ومن ثمّ تتجمع على سطح التربة والغطاء النباتي وهذا ما يلاحظ تراكم كميات كبيرة من هذه الجزيئات ومعظمها من المعادن الثقيلة. فمثلاً النظام البيئي والذي بالقرب من الطرق العامة لوسائط النقل فإن الجزيئات المتكونة من الرصاص في النباتات ومترسبة عليه وقد حملها الهواء لهم وهي تزيد في 5- 20، 50- 200 وحتى 100- 200 مرة عن مستوى الرصاص في النباتات المحاصيل الزراعية أو الأعشاب أو الأشجار المثمرة البعيدة عن مصدر التلوث.

وإن الـصنوبر Pinus strobes غالبـاً مـا يلاحـظ في المنـاطق الجديـدة في إنكلـترا والقريبة من طرقات وسائط النقل يتميز بمقدرة عالية على ادخار جزيئـات صـغيرة صـلبة كانت معلقة بالهواء الجوي قطرهـا حـوالي 7ميكـرون. وإن جزيئـات الرصـاص في الأوراق الأبرية القديمة والأفرع لدى الصنوبر تحتوي على جزيئات العنصر المـذكور أكـثر مـما هـو لدى الأعضاء الشابة. وكلما ازداد البعد عن طريق وسائط النقل فـإن محتويـات الرصـاص في الأوراق والأفرع قـد تناقـصت. وإن دراسـة ترسـب جزيئـات محتويـات الرصـاص عـلى الأوراق الأبريـة والأفـرع للـصنوبر تـساعد في تحديـد الفعاليـة ومـن الواضـح فـإن عامـل الخشونة يلعب دوراً كبيراً بمدى مقدرة السطح للأفرع أكثر مما هو عليه لدى الأوراق الأبرية. وإن مساحة سـطح الخـشب الـصنوبر والـذي ارتفاعـه 12م، وينمـو في ظـروف كثافـة عاليـة للأشجار، تكون حوالي $1,5 . 10^5$سم^2، أما الـسطح الأوسـع لـلأوراق الأبريـة لـنفس النـوع مـن الصنوبر – $1,5 10^6$سم^2. فإذا تغاضينا عن هذا الاختلاف، فإن وحدة المساحة لـسطح الخـشب تمتص من الرصاص تقريبا في 20 مرة أكثر مما هو عليه لدى سطح الأوراق الأبرية.

وإنه خلال فترة النمـو لـلأوراق والأفـرع Acer Saccharum (قطـر الـساق حـوالي 30سم) تمكن الامتصاص من الهواء الجـوي وسـطيا 5800ملـغ/ رصـاص، 820ملـغ/ نيكـل، 140ملغ/ كلور، 60ملغ/ كادميوم.

جـ- غبار الطلع والأبواغ

إن دراسة غبار الطلع المتواجد في الهواء الجوي تسمح الخروج بدور الغطاء النباتي كمصدر لجزيئات الكبيرة. وإن دور الأشجار الحراجية في التقاط غبار الطلع من الهواء الجوي يكـون أكـثر فعاليـة مـما هـو عليـه لـدى الأراضي العاريـة. وإن الإمساك بجزيئات غبار الطلع من قبل تيجان الأشجار عند هبوب الرياح المحملـة

بها من الحقول المزروعة تخفض كمية الجزيئات المحملة حتى 70%، وهذه الجزيئات تتراكم على التيجان والأراضي معاً. وإن معرفة تركزي غبار الطلع في الهواء داخل وحول غابة كثيفة من الصنوبر أظهرت أنه على بعد 100م من مصدر غبار الطلع تنخفض إلى 80% وأن الأصول الشجرية دائمة الخضرة فإنها تتميز بفعالية عالية في التقاط غبار الطلع من الهواء أكثر مما هو عليه عند الأشجار عريضة الأوراق والمتساقطة. وتتحكم في الجزيئات الكبيرة والتي تبلغ حوالي 20ميكرون مثل غبار الطلع عملية الترسيب من الهواء الجوي على سطح الأرض والغطاء النباتي ظاهرة عملية قانون هام لالتقاط الجزيئات من الهواء الجوي والتي قياسها بين 5- 30ميكرون. وإن الفعالية الأكثر لتجمع جزيئات الأبواغ على سطح النباتات هي أوراق الفراس، الأفرع وسطح الأوراق. وإن كمية تجمع جزيئات الأبواغ تزداد من تناقص قطر الأفرع. وإن دراسة ديناميكية محتويات الأبواغ في الهواء الجوي تسمح الخروج بدور هام للعناصر الصغرى المكونة لطقس وبناء الأشجار والتي تتحكم في صفات انتشار وتوزع هذه الجزيئات في الهواء الجوي وترسبها على سطح الأشجار. وإن سرعة الرياح، حرارة الهواء، الغيوم، ثبات الجو، كثافة أشجار الغابة فجميعها تعتبر عوامل مهمة ومؤثرة على لجوء الجزيئات في الجو.

د- الجزيئات الملحية

لتوسيع المعرفة عن وظائف النبات ودورة في التقاط والإمساك في الجزيئات الصلبة المتواجدة في الهواء الجوي فمن الضروري تناول مسألة تتعلق بترسيب الجزيئات الصلبة للأملاح مثل كلوريدات الصوديوم، ويكون ترسيب هذه الجزيئات من الهواء الجوي على الغطاء النباتي أكثر خاصة للنباتات القريبة من البحار أو البحيرات والمحيطات أو على جانبي طرق وسائط النقل. حيث يلاحظ وبشكل دائم اصفرار الأوراق الأبرية للأشجار النامية بالقرب وعلى امتداد الطرق التي تستخدم أملاح في مكافحة الصقيع. وإن ترسيب الجزيئات الملحية على سطح

النباتات المتواجدة في النظم البيئية القريبة مـن مـصادر المـواد الملحيـة الملوثـة تـؤدي إلى إحداث أضرار بالأوراق والأفرع للأشجار والشجيرات. وإن فعالية عمليات ترسـيب وتـراكم الجزيئات الملحية على سـطح أوراق النباتـات تتوقـف عـلى شـكل الأوراق. فمـثلاً الأوراق المتطاولة، الضيقة الأوراق حيث يتراكم على وحدة المساحة كمية أملاح أكثر، مما هو عليه لدى الأوراق مدورة الشكل. وعند انسياب التيار الهوائي، المحمل بالجزيئات الملحيـة، فـإن كمية الأملاح التي تترسب على السطح المعرض لـلـهواء تزيد في أربعة مـرات الكميـة عـلى السطح الغير معرض أو الـذي أمامـه عـائق. وإن ترسـيب وتـراكم الجزيئـات عـلى سـطح النبات ممكـن أن يـؤدي إلى إعاقـة الظـاهرة الميكانيكيـة الهامـة لـدخول المـواد الغذائيـة للنبات. وإن تحديد كمية الترسيب على السطح المحتوي على الأملاح، تسمح بالوقوف على الخاصية في تراكم الجزيئات الملحية والتي تتميز لـيس فقـط بـأنواع الأشـجار، التـي تنمـو بالقرب من البحار والمحيطات، ولكن وبالأنواع والصفات الداخلية للمناطق القارية أيـضاً. حيث أن هيكتار واحد لغابة مختلطة لها القدرة سنوياً على أن تمـتص مـن الهـواء الجـوي كمية حوالي 125كغ/ صوديوم، 6كغ/ بوتاسيوم، 4كغ/ كالسيوم، 16كـغ/ منغنيـز، 0,1كـغ/ فوسفور، وإن كمية الجزيئات الصلبة المترسبة على سطح النبات وأوراقه تتناسـب عكـسياً مع كمية الشعيرات المنتشرة على السطح.

ومن الطبيعي فإن الجزيئات الصغيرة تتميز بعدم الكفاية حتى تتـسرب إلى سـطح الأوراق عبر حدود مستقرة لطبقة الهواء. إن جميـع أنـواع الأشـجار ذات الأفـرع الـصغيرة تتميز بفعالية كبيرة في تراكم الجزيئات الصلبة مما هو عليه لأشجار ذات الأفرع الكبيرة.

إن أهــم العوامــل والتــي أظهــرت أثــر عــلى درجــة تــضرر الأشــجار عنــد تــأثر جزيئـات الأمـلاح فهـي الجزيئـات الرطبـة. أمـا الجزيئـات الجافـة فهـي أقـل سـمية مـن

الرطبة أو المائية. وهذا يؤكد فعالية الغطاء النباتي وذلك في التقاط ومسك الجزيئات الرطبة من الجزيئات الجافة.

هـ- ترسب الغبار والجزيئات الأخرى

إن تساقط الرواسب المعلقة بالهواء يلعب دوراً ملحوظاً في عمليات انتقال الجزيئات من الهواء الجوي إلى سطح النبات، وأن عملية تساقط الرواسب على مختلف الأنواع النباتية ويعتبر أن الأصول الشجرية الصنوبرية أحد الأشجار دائمة الخضرة فإنها مثلاً تلتقط أو تمسك من الهواء الجوي بشكل ملحوظ كمية أكثر من الأشجار المتساقطة الأوراق. وإن الأكثر فعالية في عملية التقاط أو تنقية الهواء من الجزيئات تعتبر غابات الشوح، والأقل عريضة الأوراق أما غابات الصنوبر فهي تحتل مكان وسطي بينهما. وإن ترسيب الجزيئات الصغيرة الحجم (2ميكرون) على تيجان الأشجار Abies Jumiperus سمحت القول، أنه عند الاحتواء القليل للجزيئات الصلبة في الهواء فإنها تتراكم على الأوراق الإبرية للأشجار، وفي الأساس في الجهة التي تهب منها الرياح، مع العلم أن عملية الترسيب والتراكم على سطح الأوراق الإبرية تستمر حتى تساوي مقدار الحمل أي مقدرة الورقة على الحمل. وإن زيادة الكمية المترسبة على سطح النبات من الجزيئات والرواسب تساهم لفترة تحويل اتجاه الرياح، وتؤدي إلى تساوي نسبياً توزيع كثافة الجزيئات على سطح الأوراق. وإن فعالية مختلف الأصول الشجرية (Populus, Betula, Pinus) في عملية تنقية الهواء من الجزيئات كالغبار فيمكن إعطاء أهمية كبيرة لدور Pinus في تنقية الهواء من الغبار. وهو أيضاً الأكثر فعالية لتجمع جزيئات الغبار على الأوراق الإبرية المتواجدة في القسم الداخلي من التاج، ولكن ليس على السطح الخارجي. ومن الطبيعي أن خواص Pinus في عملية تنقية الهواء أكثر مما هو عليه لدى الأشجار عريضة الأوراق وهذا ما تؤكده كثير من البحوث. وإن كثير من البحوث تؤكد على الفعالية المختلفة للأنواع النباتية لامتصاص جزيئات

الغبـار مـن الهـواء الجـوي، ووضـحت إلى أهميـة دور الحالـة الفيزيائيـة لـسطح الأوراق (الخشونة، النعومة) في عمليات ترسيب الجزيئات من الغبار على النبات. فمـثلاً النباتـات ذات الأوراق خشنة الملمس تتراكم عليها جزيئـات الغبـار كميـة أكـثر مـن 10 مـرات مـن النباتات التي تتميز بسطح أوراقهـا الأملـس ومغطـى بطبقـة رقيقـة مـن الـشعيرات. وإن نتائج دراسة عمليات ترسيب الجزيئات المحتويـة عـلى مـواد ذات فعاليـة إشـعاعية عـلى أوراق حديثة الجمـع لمختلـف الأنـواع النباتيـة مثـل (Urtica diotica, populas alba, Fagus sulvatica); في تجربة استخدم فيها مواسير ديناميكية، وكذلك اسـتخدام جزيئـات مختلفة المقاييس (2,75؛ 5؛ 8,50ميكرون).

وكانت نتيجة واحدة تؤكد تأثير حالة سطح الأوراق على فعالية إمـساك أو التقـاط الجزيئات من الهواء الجـوي. وإن خـشونة الـسطح تعتـبر أكـثر فعاليـة في عمليـة التقـاط الجزيئات. وقد وجد أيـضاً وبـشكل ملمـوس تناسـب عكـسي بـين مـساحة سـطح الأوراق وسرعة ترسيب الجزيئات الصلبة. حيـث أن تزايـد مقيـاس سـطح الأوراق أدى إلى تنـاقص سرعة الترسيب. والكمية الأكثر من حيث ترسيب الجزيئات قد حـدث عـلى قمـة وحـواف الأوراق، وإن فعالية تجمع الجزيئـات الـصلبة تعتـبر النباتـات التـي تمتلـك شـكلاً معقـداً للأوراق.

إن زيادة سرعة الرياح وقياس الجزيئات الصلبة تؤدي إلى قاعدة وهي تزايد سرعـة ترسيب الجزيئات الصلبة وكذلك الترسيب عـلى أوراق الغـراس، الأفـرع وأغـصان الأشـجار يكون أكثر سرعة ولعدة مرات مما هو على سطح الأوراق، حتـى ولـو أن الحجـم العـام أو الإجمالي للكمية المترسبة على النبات فإن قسم كبير تحدده عمليـة امتـصاص الأوراق مـن الهواء الجوي.

هذا الاستنتاج يؤكد أنه عند التساقط الكبير والعالي الكثافة الجزيئات الصلبة من الهواء الجوي على الأشجار يلاحظ في الشتاء، عندما تكون الأوراق غير موجودة هذا من حيث لدى الأصول الشجرية المتساقطة الأوراق.

4- الغطاء النباتي الحراجي مصفاة للغازات المختلفة

للغطاء النباتي وضمنه الأشجار دور هام في عمليات امتصاص وتنقية الهواء الجوي من الشوائب الغازية المختلفة، وأن ترسيب المكونات الغازية المختلفة على أشجار الغابات في كثير من الأحيان يشترط تأثير الانتشار وعوامل أخرى لنقل الغازات في الهواء. وعند الاصطدام مع أعضاء النبات فإن الجزيئات الغازية ممكن أن تلامس السطح وتنحل مع الطبقة الرطبة التي تغطي السطح الخارجي للأوراق أو الأفرع، وتتسرب لداخل أعضاء النبات عبر ثغرات الأوراق. وفي حال كان سطح النبات رطب والشوائب الغازية المتواجدة في الهواء الجوي تنحل بشكل جيد في الماء، فإن عملية الانحلال مع السطح الرطب للنبات تلعب دوراً جوهرياً وذلك في التقاط المركبات الغازية من الهواء الجوي. وفي حال كان السطح جافاً عند النبات وكذلك درجة انحلال الشوائب الغازية منخفضة فإن الجزيئات الغازية تدخل في أنسجة النبات في الأساس عبر ثغرات الأوراق.

أ- ثغرات الأوراق وامتصاصها للغازات

الثغرات المتواجدة على النبات تمتلك مقاييس غير ملحوظة، وعادة فإن طول الفتحة تقريباً 10ميكرون وعرضها 2- 7ميكرون عندما تكون مفتوحة كاملة.

2- 7ميكرون عندما تكون مفتوحة كاملة. وتتوزع الثغرات على سطح بشرة الأوراق وعبرهم يحدث التبادل الغازي بين النبات والهواء المحيط ويشترك في هذا التبادل جزيئات غاز أكسيد الكربون، الأكسجين، بخار الماء. المواد الشمعية

المختلفة تغطي سطح الأوراق (الجلدية)، فهي تحدد عملية الانتشار والتبادل بين سطح الأوراق والهواء، لذلك فإن التبادل يحدث فقط عبر فتحات الثغرات. وفي حال إذا كانت جميع ثغرات الأوراق مفتوحة فإنها تشكل فقط 1% من مساحة السطح. توجه الثغرات وظائفها نحو تأمين نظام أمثل لانتشار الغازات بين الجو ومع سطح الأوراق في الوسط المحيط وأن الثغرات من خلال وظائفها فإنها تتغير خلال اليوم: فهي تنفتح خلال ساعات النهار عند تواجد أشعة الشمس وتنغلق عند حلول الظلام. وخلال فترة ودرجة انفتاح فتحة الدخول للثغرات يتبعه تيار ملحوظ للغازات لسطح أو مع السطح في درجة ملحوظة يتوقف على مجموعة العوامل للوسط المحيط.

خلال فترة الإضاءة ينطلق من الأوراق بخار الماء وتمتص ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى وضمنها المواد الملوثة، ويتم ذلك عبر الثغرات. وعندما تتسرب الغازات لداخل الأوراق عبر الثغرات فإنها تنتشر بين الفراغات وتتغلغل إلى داخل سطح جدار الخلايا أو الخلايا البرانشيمية. وإن سرعة دخول الغازات من الهواء الجوي لداخل خلايا الأوراق تنظمه معاليم تسمى محصلة المقاومة. وإن مقاومة الهواء تحددها سرعة الرياح، مقاييس وشكل الأوراق، لزوجة الغازات تحدد قيمة عامل الانتشار. وإن مقاومة ثغرات الأوراق تتوقف على مقاييس فتحة الدخول والتي تتأثر في عدم كفاية الماء. وإن مقاومة النسيج الأوسط تتأثر بانحلال الغاز في الماء، الداخل من الهواء الجوي وأن سرعة التقاط أو جذب الشوائب الغازية من الهواء الجوي تتأثر بعوامل عدة وظروف الوسط المحيط، ففي الظروف الطبيعية العادية فإن سرعة امتصاص الغازات من قبل النبات ممكن أن تتغير وهي ثابتة. لكن وحتى عند توفر كمية كافية عن مواصفات الأوراق، فإن سرعة الرياح، الحرارة ورطوبة الهواء الجوي، سرعة الأشعة الشمسية، فإن جميعها تؤثر في سرعة امتصاص الغازات من قبل النبات ويمكن أن يكون عاملا كافيا في بعض الحالات.

ب- النبات وامتصاصه الغازات

إن الأبحاث التي تناولت عمليات امتصاص الشوائب الغازية من الهواء كانت قد نفذت على أنواع نباتية مختلفة مثل الفصفصة – Medicago Sativa؛ والشوفان – A vena Sativa؛ والشعير Hordeum Vulgare. وإن فعالية امتصاص الشوائب الغازية لدى النباتات المذكورة موجودة، وتؤكد هذه الأعمال عن وجود اختلاف جوهري. وإن سرعة امتصاص الغازات من الهواء الجوي لدى نبات Medicago Sativa تنقص في الترسيب التالي للغازات المستخدمة في البحث: فلوريك الهيدروجين، ثاني أكسيد الكبريت، الكلور، ثاني أكسيد الأزوت، الأزون، نتراتيات بروكسيد الأستيلين، أكسيد الأزون، أكسيد الكربون. وفي الغالب فإن سرعة امتصاص الغازات من قبل النباتات تزداد مع زيادة إمكانية الغازات الانحلال في الماء. وإن فلوريك الهيدروجين، ثاني أكسيد الكبريت، ثاني أكسيد الأزوت والأزون يتميزون بمقدرة عالية على الانحلال في الماء وكذلك على خاصية تفاعلية، وفعالية عالية الامتصاص من قبل النبات. وإن الغازات السيئة الانحلال في الماء فهي أكسيد الكربون، أكسيد الأزون وتعتبر أيضا بطيئة نسبيا أو في جميع الحالات لا تلتقط من الهواء الجوي بسهولة من حساب امتصاصها من قبل النبات. وإن سرعة تناقص المواد الملوثة من الهواء الجوي فهي عمليا شرط ترسبها على سطح النبات إلى انغلاق ثغرات الأوراق. إن الضوء له تأثير على النبات ويلعب دورا جوهريا في النشاط الفيزيولوجي للأوراق وهو ذو تأثير ملحوظ على سرعة امتصاص المواد الملوثة من قبل أوراق النبات. عند ظروف الرطوبة الثابتة التربة، فإن سرعة التقاط المواد الملوثة في الهواء الجوي يكون النبات تقريبا ثابت خلال النهار ويعود السبب في ذلك لأن ثغرات الأوراق مفتوحة. وإن الفعالية الأكثر من حيث امتصاص الشوائب الغازية هي من قبل النبات ذات السمية المنخفضة القريبة من سطح الأرض.

في مجال الانتشار يحدث فعالية أكثر لتوزع التبادل الغازي بين الجو وسطح الأوراق في الظروف المعتدلة والمضيئة من قبل أشعة الشمس. الامتصاص ليلا للغازات ممكن أن يحدث ولكن سرعته العملية في غياب الضوء (مثل No_2 , So_2) يكون أقل بشكل ملموس مما هو في النهار.

جـ- الأشجار وامتصاصها الغازات

ثاني أكسيد الكبريت

يحتوي الهواء على كمية ملحوظة من ثاني أكسيد الكبريت، يمتصه السطح الخارجي للأشجار والذي يتميز بمقدرة عالية على الانحلال في الماء. وفي حال أن يكون سطح عناصر الشجرة غير رطب، فإن ثاني أكسيد الكبريت يترسب على الأوراق وفعالية تأكسده حتى كبريتاتيات من خلال عمليات أو تفاعلات الأكسدة الكيميائية، ويتسرب إلى النسيج الأوسط لخلايا الأوراق. وعند انخفاض سرعة امتصاص ثاني أكسيد الكبريت من الهواء الجوي فإنه يتأكسد ويشكل كبريتاتيات، عمليا فإنه بسرعة يمتص هذا الغاز من قبل أوراق الأشجار. إن التجربة التي أجريت باستخدام نبات **populus** وذلك ضمن ظروف خارجية سيطر عليها وكان تركيز ثاني أكسيد الكبريت يتغير من 0,1- 0,5 مليون$^{-1}$ والفترة الزمنية تراوحت من 5- 80 ساعة. وإن سرعة امتصاص ثاني أكسيد الكبريت من الهواء قد حددت بطريقة تراكم الكبريت في الأوراق. وعند انخفاض مستوى التشبع (0,1- 0,25 مليون$^{-1}$).

ولوحظ زيادة محتويات الكبريت في الأوراق، ولكن بعد ذلك انخفض حتى المستوى الذي سجل عند بدأ التأثير وأن ملاحظة تناقص تركيز الكبريت في أوراق Populus ممكن أن يكون مشروط بالأسباب التالية: تناقص سرعة الامتصاص،

هجرة الكبريت من الأوراق، انفصال الكبريتاتيات من جذور النبات أو انطلاق كبريتيد الهيدروجين من الأوراق في الهواء.

وإن دراسة امتصاص ثاني أكسيد الكبريت لأفرع شجرية عمرها سنة وهي:

Betula; Fraxinus americana; Populus grandidentana; Acer saccharum lutea ويحتوي المخلوط الهوائي المؤثر على النباتات 7205ملغ/م^3 من ثاني أكسيد الكبريت وخلال فترة زمنية ساعتين. ولكن تعرضت النباتات مبدئيا لمدة 20 ساعة أو أكثر لثاني أكسيد الكبريت (0,75مليون$^{-10}$) أدى إلى تناقص سرعة امتصاص هذا الغاز عند جميع الأنواع الشجرية التي أجرى عليها ما عدا Fraxinus alba. ويعتبر تحمل أو ثبات النبات لتأثير ثاني أكسيد الكبريت بعد امتصاصه من الهواء بعلاقة مع سرعة عمليات التقاط وتراكم ثاني أكسيد الكبريت من الهواء على الأوراق. وهكذا فإن فعالية التقاط ثاني أكسيد الكبريت من الهواء في التجربة ممكن أن يكون أقل مما هو عليه في الظروف الطبيعية، وفي ظروف التجربة غالبا ما يستخدم تركيز عالي من ثاني أكسيد الكبريت، وهذا عمليا نادرا ما يصادف في الطبقة حول الأرض من الهواء. التشبع المبدئي يتحقق في الظروف الطبيعية، والتي يمكن في المستقبل أن يتناقص أو ينخفض الالتقاط الطبيعي لثاني أكسيد الكبريت. إن تناقص سرعة امتصاص ثاني أكسيد الكبريت ممكن ملاحظته خلال مرحلة مستمرة من فترة التلوث العالي للهواء. وهذه المسألة بالمقارنة تعبر عن أهمية عملية في امتصاص ثاني أكسيد الكبريت من قبل الثغرات المنتشرة على الأوراق والقسم الجاف من سطح النبات والفعالية النسبية لالتقاط ثاني أكسيد الكبريت من الهواء للنباتات الجافة وسطح النباتات الرطبة.

الكلور

يقوم النبات بامتصاص العنصر الغازي المذكور من أي شوائب ملوثة أخرى من الهواء الجوي وبدرجة أكثر فعالية. فمن الممكن امتصاص فلوريك الهيدروجين

من الهواء من قبل خلايا النسيج الأوسط للأوراق، وكذلك الأجزاء المختلفة لسطح النبات. وإن حوالي 50% من الكمية التي يمتصها النبات من فلوريك الهيدروجين تتم من خلال عمليات الترسيب من الهواء الجوي على السطح الخارجي للنبات. وإن لعملية الامتصاص الملحوظة لمحتويات الفلور من قبل أوراق النبات تشترط قبل كل شيء الانحلال الجيد في الماء وخاصيته العالية في التفاعل مع المواد. إن فلوريك الهيدروجين له تأثير على النبات وقادر أن يؤدي من حيث التراكم في الأوراق أن يصل تركيزه داخل الأوراق إلى مليون مرة يزيد عما هو عليه في الهواء. وإن عملية التبخر التي تحدث عند النبات فهي تحقق إلى زيادة محتويات الفلور في مسار المواد المتجهة نحو محيط وسطح الأوراق. خصوصاً وأن هذه الأقسام من الأوراق تكون أكثر شدة من حيث التبخر وتبادل الغازات مع الهواء، ويحدث تراكم الفلور وذلك عند اشتداد عملية تساقط الرواسب، ومياه الأمطار ليس فقط تقوم بغسل كمية ملحوظة من الفلور من سطح الأوراق، وإنما تساعد أيضاً على تسربه لداخل الأوراق.

المؤكسدات

يعتبر الأزون من العناصر السيئة الانحلال نسبياً في الماء (0,052غ في 100 ماء عند 20م °)، ولكن بسهولة يتغلغل في تجويف ثغرات الأوراق. وبقدر أن الأزون يتميز بخواص تفاعلية عليه، فإن تأثيره الكيميائي المتبادل مع الجزيئات العضوية في خلايا النسيج الأوسط يحدث بسرعة كبيرة جداً. وإن دراسة عملية امتصاص الأزون من الجو لمختلف الأصول الشجرية مثل Acer rubrum , Betula populifolia فإن عملية الامتصاص تنمو حتى يصل تركيز الأزون في الهواء إلى 980ملغ/م^3. وإن هذه الأنواع الشجرية تتميز بفعالية في التقاط الأزون من الهواء الجوي المحيط. وإن سرعة ترسيب الأزون على السطح (0,8سم/ ثا) فهي أقل مما هو عليه لدى ثاني أكسيد الكبريت (1سم/ ثا). وإن انحلال ثاني أكسيد الأزون

في الماء يؤدي إلى تشكيل أيونات نيتريتات ونتراتيات، ومن ثم تتحول داخل الأوراق إلى أمونيوم (نشادر).

إن تحليل ما سبق يؤكد على إمكانية التراكم والترسب على مختلف أجزاء النبات من جزيئات صلبة ذات مصدر طبيعي أو اصطناعي كانت معلقة أو محمولة بواسطة الهواء الجوي. وإن جميع المعطيات تؤكد على ما يلي:

1. إن عملية التقاط الجزيئات الصلبة من الهواء الجوي وذلك من خلال التأثير المتبادل مع النبات تمثل عملية تغير استثنائية، تتوقف قبل كل شيء على العوامل التالية:

أ- حجم، أشكال، رطوبة، بناء سطح الجزيئات.

ب- مقياس مساحة، أشكال، رطوبة، بناء سطح النبات الذي يحدث عليه الترسيب من الهواء الجوي.

ت- ظروف العناصر الصغرى للطقس الذي يتواجد فيه النبات.

2. القسم الأساسي عن فيزيائية وميكانيكية ترسيب الجزيئات على النبات منحصر في الأساس على التجارب التي أجريت في ظروف غير طبيعية.

3. هناك قاعدة تؤكد أن السطح للأوراق كلما كان خشناً كلما زادت الفعالية في مسك والتقاط الجزيئات الصلبة والتي لا تزيد مقاييسها عن 5ميكرون. وإن الأنواع النباتية التي تصنف بأنها ملساء مستوية السطح مثل Liriodendron tulipifera والتي تعتبر أقل فعالية في مسك والتقاط الجزيئات الصلبة، من الأنواع النباتية والتي أوراقها أكثر خشونة مثل .Ulmus spp أو Corylus spp.

4. خشونة السطح للأوراق تبطئ حركة الهواء وتزيد من فترة تلامس الجزيئات الصلبة مع السطح، وتعتبر الشعيرات والعروق العنصر الأساسي للأوراق والذي يشكل خشونة السطح.
5. الأوراق ذات السطح الكبير تتميز بفعالية تجميعية لجزيئات الصلبة أكثر بالمقارنة مع الأوراق التي تملك مساحة أكبر للسطح.
6. الأوراق المركبة الشكل تعتبر أكثر فعالية في عملية تراكم الجزيئات الصلبة عليها.
7. زيادة سرعة الرياح ومقاييس الجزيئات، كقاعدة تؤدي إلى زيادة سرعة ترسيب الجزيئات.
8. سرعة ترسيب الجزيئات الصلبة من الهواء الجوي على الأفرع وقاعدة الأوراق يفوق بكثير سرعة الترسيب على الصفيحة الورقية. ومن خلال عمليات ترسيب الجزيئات على الأفرع وسيقان الأشجار متساقطة الأوراق يحدث أبعاد الجزيئات الصلبة من الهواء الجوي شتاءً.
9. الأشجار دائمة الخضرة تتميز بفعالية أكبر من الأشجار متساقطة الأوراق في عملية التقاط الجزيئات من الهواء الجوي.

إن عمليات التقاط أو امتصاص المخاليط الغازية المختلفة المتواجدة في الهواء الجوي من قبل الغطاء النباتي يعتبر عمل جوهري، والذي يسمح في الخروج بالاستنتاجات التالية:

1. إن سرعة التقاط أو امتصاص النبات لمختلف المواد الغازية الملوثة تنمو مع زيادة درجة انحلالها في الماء. وإن فعالية امتصاص الغازات الجيدة الانحلال في الماء تتميز بخواص تفاعلية عالية (فلوريك الهيدروجين، الأزون، ثاني

أكسيد الكبريت، ثاني أكسيد الأزوت). أما أكسيد الأزوت وأكسيد الكربون فيتميزان بخواص منخفضة من حيث درجة الانحلال في الماء وكذلك درجة أقل نسبيا من حيث امتصاصها من قبل النبات.

2. السطح الرطب للنبات ممكن أن يزيد 10 مرات من سرعة امتصاص الغازات.
3. إن تحديد تأثير الضوء على النشاط الفيزيولوجي للأوراق وعمليات تبادل الغازات، يحدث عبر الثغرات، وهذا العامل ذو أهمية جوهرية مؤثرة في سرعة امتصاص أوراق النبات للمواد الغازية الملوثة المتواجدة في الهواء الجوي. وخلال فترة الإضاءة تكون كل ثغرات الأوراق مفتوحة كاملا، وأن سرعة التقاط وامتصاص المواد الغازية الملوثة من قبل النباتات تكون مستمرة ودائمة عند ظروف التربة الرطبة.
4. الفعالية الأكثر لامتصاص المواد الملوثة من قبل الأوراق يحدث من خلال السطح الخارجي لتاج الشجرة.
5. يحدث امتصاص ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الأزوت من قبل النبات حتى ليلا، ولكن سرعة عملية الامتصاص تكون بشكل ملحوظ أقل مما هي عليه نهاراً.

الفصل الرابع

التلوث بالعناصر الصغرى وتأثيرها على النبات

التلوث بالعناصر الصغرى وتأثيرها على النبات

1- العناصر الصغرى مواد ملوثة للـهواء الجوي

إن أغلب العناصر الصغرى تتواجد في الهواء الجوي فقط على شكل جسيمات صغيرة وهي في الأساس أكاسيد معدنية. وبعض هذه العناصر له المقدرة على التواجد بحالة غازية بشكل جزيئات أو جسيمات أيضاً. وإن الجزيئات أو الجسيمات التي تتواجد في الهواء بشكل حر فهي يمكن أن تكون صلبة أو سائلة، أو صلبة وسائلة.

وإن حجم الجزيئات أو الجسيمات السابقة الذكر صغيرة جداً حيث أقطارها تتراوح بين 0,005- 500ميكرون. وعادة الجزيئات الصلبة الصغيرة الحجم تكون مشحونة كهربائياً وقسم منها قابل للاتحاد مع جزيئات أخرى. وإن الجزيئات الصلبة والتي أقطارها ما بين 0,1- 1ميكرون فهي غالباً ما تكون غازية وقد تتراكم أو تتجمع حول بعضها البعض مشكلة مركبات غير طيارة. وإن الجزيئات المسترطبة فإن مقاييسها وكثافتها واسعة التبدل والتغير بعلاقة مع الرطوبة، لذلك فإن سرعتها النهائية غير ثابتة وهذا يلعب دوراً كبيراً في مقدرتها على التأثير وعادة الجزيئات لا تتكون من عنصر واحد وإنما مركبة وذلك من مخاليط جزئية متغايرة الخواص. وهناك صعوبة في القياس الحقيقي لمكونات العناصر الصغرى في الجزيئات الصلبة. أما تركيب الجزيئات الصلبة فأشكاله مختلفة كثيراً فمنها العضوي أو غير العضوي، فإذا كان عضوي فله القدرة على الحياة أو عديم القدرة. أما الغير عضوية فهي جزيئات صلبة والتي تحتوي عادة على عناصر مختلفة. وإن الجزيئات الأكثر انتشاراً (Fe , Al , Ca , Si) مع العلم أن تركيز العناصر الصغرى في الجزيئات الصلبة يتوقف حسب أشكال ومقاييس الجزيئات وتوزع التركيز المنتشر. وإن الجزيئات الصلبة والتي أقطارها أقل من 3ميكرون على الأغلب

يكونها الحديد، وإن تركيزها حوالي 3- 5% وفي المرتبة التالية يأتي الرصاص 1- 2%.

أما الجزيئات والتي تميزت بأقطارها 0,5ميكرون وأقل من ذلك فقد ساد الرصاص، وقد كونت أكثر من 2- 4%، أما الحديد فقد كان أقل من ذلك أقل من 1%. وإن زيادة محتويات الرصاص والفانديوم فقد لوحظ في الجزيئات الصلبة والتي كانت مقاييس أقل من 1ميكرون، وبالوقت نفسه فإن المحتوى العالي للحديد صفة لدى الجزيئات الصلبة. إن مقاييس الجزيئات الصلبة وكذلك التركيز والمكونات تحدد درجة علاقة الجزيئات. في الهواء الجوي يحدث تحولات فيزكيميائية للمواد الملوثة. فمثلاً O_2 له تأثير متبادل مع الجزيئات الصلبة، فيتشكل كبريتات النشادر، كبريتات معادن مختلفة، حامض الكبريت.

تنطلق الجزيئات الصلبة إلى الهواء الجوي بصورتين رطبة أو جافة، ومن ثم تترسب على سطح الأرض أو النبات أو المسطحات المائية وذلك بفعل عملية التثقيل (الوزن + الجاذبية الأرضية). وعند الترسب الرطب للجزيئات الصلبة فإنها تخرج من الجو بصورة أمطار. ولكن لتشكيل أمطار أي قطرات المطر فمن الضروري توفر جزيئات صغيرة جداً أقطارها أكثر من 0,1ميكرون، فعند ذلك تتكثف لتشكل قطرات المطر. وإن الغطاء النباتي والذي يشكل طبقة سطح خشنة تقوم بدورها بإحداث اضطرابات تؤدي إلى تغير سرعة الرياح المحملة بالجزيئات الصلبة مما تساعد على الإمساك بالجزيئات أو ترسيبها على السطح.

ولفهم وتوضيح آلية التأثير في درجة الترسيب على النباتات، يجب معرفة على شكل النبات المؤثر على سرعة الرياح. وإن سرعة الرياح وتركيز الجزيئات تتناقص بسرعة محيط الغطاء النباتي وأن تركيز العناصر الصغرى يكون أعلى على الجهات المحمية من الأشجار بالمقارنة مع الجهات الغير المحمية ويعود السبب في

ذلك للكمية الكبيرة من ترسيب الجزيئات من جراء حركة الهواء البطيئة. وقد وجد أن غراس الأشجار لها فعاليتها في الإمساك بالجزيئات الصلبة المحمولة بالهواء وتخفض مكونات الغبار المحمول بالهواء.

2-العناصر الصغرى مصدرها ودورها في تلوث الهواء الجوي

تضم العناصر الصغرى عددا كبيرا من العناصر وهي تتواجد في الوسط المحيط بكميات ليست كبيرة. وإن البعض من العناصر الصغرى له المقدرة على إحداث أضرار للنبات ومن هذا المنطلق تدخل العناصر المعدنية ضمن صف المواد الملوثة. وإن قسم كبير من المعلومات الخاصة بدارسة تأثير العناصر الصغرى على النبات، قد خرجت من أبحاث أجريت في مناطق صهر المعادن والصناعات الثقيلة، والمجالات الأخرى الخاصة بهذه الصناعة واستخداماتها. بالإضافة إلى المواد التي تلفظها ومحطات توليد الطاقة الكهربائية في الوسط المحيط من جراء عملها على الوقود الصلب وهو الفحم الحجري فهي أيضاً تقوم بدور لا يستهان به وذلك برمي عناصر صغرى مختلفة التأثير على الغطاء النباتي القريب من محطات التوليد.

تتشكل الجزيئات الصلبة المكونة للعناصر الصغرى في الأساس نتيجة النشاط الصناعي، معتمدا على حرق الفحم الحجري والنفط بالإضافة إلى التفاعلات الكيميائية التي تتم بين مختلف غازات العناصر الصغرى، وكذلك من رذاذ المياه المالحة في البحار والمحيطات والغبار الصناعي.

وتدخل العناصر الصغرى Ni ; Mn ; Fe ; Cu ; Zn ; pb إلى الهواء الجوي نتيجة النشاط الحيوي للإنسان. وإن تحليل الأدخنة التي تقوم برميها الصناعات المختلفة في الهواء الجوي توضح القدرة الكامنة الملحوظة لهذا المصدر الملوث من العناصر As ; Ni ; Mn ; pb ; F ; Cu ; At (At- أستاتين هو عنصر مشع يتميز بالقدرة على الانشطار النصفي خلال فترة ليست كبيرة وهو ذو مصدر اصطناعي،

ويعتبر من أثقل العناصر المولدة). ولجزيئات الصلبة المقدرة على التواجد نتيجة النشاط الصناعي غير المباشر، حيث تقوم الرياح بنقلها مما تسبب تلوث الأتربة نتيجة رمي المخلفات الصناعية.

وإن كثير من مكونات العناصر الصغرى المعلقة في الهواء الجوي من جزيئات صلبة ممكن أن تتكون نتيجة النشاط الحيوي للإنسان، ويعتبر عامل تلوث الوسط غير ملحوظ في توزيع العناصر الصغرى في الترب بالمقارنة مع مكونات التربة الأصلية، وكذلك مقطع التربة، استخدام الأرض والطقس. وإن تلوث الترب الزراعية بالعناصر الصغرى من المصادر وكذلك تلوث الهواء الجوي ممكن أن يؤدي إلى تراكم العناصر الملوثة في الطبقة السطحية، وإن كثير من هذه العناصر الصغرى بعد عملية الترسيب تبقى حول السطح. وإن الجزيئات الصلبة والتي أقطارها أكثر من 10ميكرون ممكن أن تظهر أو تتشكل نتيجة العمليات الميكانيكية الطبيعية، كالانجراف الريحي والغبار. وإن جزيئات الأتربة والغبار الصناعي والجزيئات الصلبة الأخرى ممكن أن تشكل نتيجة حرق الوقود، وكذلك الجزيئات الصلبة الملحية البحرية تمتلك قطر 1-10ميكرون. وفي نتيجة العمليات الصناعية وضمنها الاحتراق، وعملية التكثف يتشكل في الأساس جزيئات صغيرة (أقطارها أقل من 1ميكرون) الجزيئات الصلبة غير ثابتة التركيز وهي تتغير حسب نشاطها وبعدها عن المصدر والارتفاع الذي أخذت منه العينة، ظروف الطقس، مقاييس الجزيئات. وإن الجزيئات الأكبر حجماً تعود بسرعة إلى سطح الأرض بفعل ثقلها واعتماداً على عملية الترسيب، مما يؤدي إلى خفض عملية التشتت بالمقارنة مع الجزيئات الصغيرة الحجم، والتي لها المقدرة على الصعود في الهواء إلى الأعلى بفعل التدفق الاضطرابي والتيارات الهابطة والصاعدة تؤدي إلى الانتشار الملحوظ. وإن سرعة ترسب العناصر الصغرى ذات المصدر الصناعي أقل. ويعود السبب في ذلك إلى أن حجمها أقل. وإن سرعة ترسب الجزيئات الصلبة المتكونة من Zn ; pd ; Cd

على الأعشاب تتوقف حسب سرعة الامتصاص وتركيز هـذه المـواد في الهـواء الجـوي. وإن عملية التشتت والترسيب تتـأثر بارتفـاع مخـرج الأدخنـة، سرعـة الريـاح، الحالـة الجويـة، بالإضافة إلى الأمطار ومواصفات المنطقة. وهكذا فإن المكان الذي تتواجـد فيـه المـصفيات والمجمعات الأخرى للغبار، فإن درجة التلوث بالعناصر الصغرى تتوقف على درجة فعالية هذه الأجهزة، ومقدرتها على تأدية الدور الذي وجدت لأجله.

إن الرياح القوية لها تأثير كبير على عملية توزع وترسب العنـاصر المتـساقطة عـلى الغطـاء النبـاتي مـن الهـواء الجـوي. وإن عمليـة ترسـب العنـاصر الـصغرى بفعـل الثقـل والجاذبية وتجـذب الأمطـار العنـاصر المعلقـة بـالهواء الجـوي ورميهـا عـلى سـطح الأرض فتعمل على تنقية الهواء الجوي من هذه الجزيئات. وللتيارات الهوائية القدرة على حمـل الجزيئات الصلبة المكونة للعناصر الصغرى التـي تلفظهـا فتحـات الغـاز العـادم للمـصانع والمعامل والغبار الصناعي لمسافات كبـيرة مـما تـساعد عـلى زيـادة رقعـة التلـوث. وإننـا سنقوم بدراسة تأثير بعض العناصر الصغرى على النباتات فمنهم:

- **الألمونيوم (Al):**

بعض الجزيئات الصلبة تحتوي على كمية ملحوظة من العنصر المـذكور، وأن دوره السام يؤدي إلى الحد من النمو لـدى المجمـوع الجـذري وكـذلك الاصـفرار المبكـر لمحـيط الأوراق.

- **الزرنيخ (As):**

إن المـسطحات النباتيـة القريبـة مـن المعامـل القائمـة عـلى صـناعة المـدخرات الكهربائيـة تكـون ملوثـة بالرصـاص إلى جانـب الـزرنيخ. وإن زيـادة تركيـز الـزرنيخ في

التربـة يـؤدي إلى تـساقط الأوراق الأبريـة ومـوت الجـذور الـصغيرة عنـد بعـض أشـجار الصنوبريات.

- **الكادميوم (Cd):**

إن الزيادة في تركيز الكادميوم يسبب أضرار ليس فقط للنباتات وإنما للإنسان أيضاً حيث يسبب أمراض في الأوعية القلبية. وإن المصدر الرئيـسي للتلـوث بالعنـاصر المـذكورة يعتبر في الأساس مصانع التعدين والصناعات الثقيلة وكذلك وسائط النقل. بالإضافة إلى أن جميع العمليات الصناعية والتي تقوم باستخدام التوتياء يرافقها الكادميوم، مـع العلـم أن الكادميوم والتوتياء يتواجدان معاً في المواد الخام.

وإن وسـائط النقـل تقـوم بـإطلاق كميـات كبـيرة مـن العنـصر المـذكور حيـث أن النباتات النامية على جانبي الطريق تحتوي على كميات لا يستهان بها من العنصر المذكور وأن الكمية تتناقص كلما ازداد البعد عن الطريق، وفي نفس الوقت فـإن الجزيئـات الأكـبر حجماً تتساقط بالقرب من جانبي الطريـق. وإن الاسـتعمال الواسـع للأسـمدة الفـسفاتية والمبيدات الحشرية والجرذان قد تساهم وبشكل كبير من تواجد العنصر المـذكور ويـصبح المادة الرئيسية الملوثـة للوسـط المحـيط. وإن الجزيئـات الـصلبة للعنـصر المـذكور والتـي تترسب مع الغبار والهطول الجوي فإن توزع هذه الجزيئات وانتشارها يتأثر وبقوة من قبـل الرياح. أما الجزئيات المتبقية في الهواء الجوي فإنها تهبط على التربـة أو عـلى النباتـات ومـن ثم تدخل في الحلقة الغذائية بعدما تقوم النباتات بامتصاصها من قبل المجموع الجذري أو مـن قبل الأوراق. وإن ملاحظة الأضرار التي يسببها الكادميوم للنباتات فهي تبدأ مـن تبـاطئ النمـو عند النبات والاصـفرار المبكـر لـلأوراق وكـذلك انخفـاض عمليـة التمثيـل الكلـوروفيلي وسرعـة

التبخر. وهناك تأثير للعنصر المذكور على الجذور ومقدرتها على الامتصاص فهو يقوم بعرقلة امتصاص بعض العناصر الأساسية.

وعند عزل جنين الفاصولياء ومعاملته بمحلول الكادميوم تركيزه 0,0005- 0,003% فخلال 20 ساعة قد يوقف الجنين عن النمو والنشاط وقد سبب للعضو المحوري الالتواء، بالإضافة إلى انخفاض التمثيل الكلوروفيلي.

- **النحاس (Cu):**

فهو عنصر مهم للنبات، لكن الكمية السامة له تسبب تباطؤ في النمو. وإن كمية النحاس تكون مرتفعة لدى النباتات التي تنمو في المناطق السكنية.

وإن كمية النحاس التي تزيد عن 60×10^{-4}% في التربة تؤدي إلى إحداث الاصفرار والتساقط المبكر لدى الأوراق، جفاف القمة النامية للأشجار، إذا فهو يؤدي إلى تحطيم النشاط الحيوي داخل النبات. وقد لوحظ تواجد كمية كبيرة من العنصر المذكور في النباتات النامية حول معامل صهر النحاس والنيكل.

- **الرصاص (Pb):**

يعتبر أحد منتجات النشاط البشري من جميع العناصر الصغرى، يتميز بتأثيره القوي على صحة الإنسان. ويعتبر المصدر الرئيسي الملوث للعنصر المذكور محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل على البنزين كوقود لها المحتوي على الرصاص، معامل التعدين، المبيدات الحشرية المحتوية على زرنيخات الرصاص، الأسمدة الفوسفاتية. والرصاص هو أكثر المعادن الثقيلة ضررا للنباتات حيث تقوم النباتات بامتصاصه عن طريق النظام الجذري وكذلك عن طريق الأوراق والتي تقوم بامتصاصه من الهواء الجوي. إن الجزيئات الأكبر حجماً للعنصر المذكور تترسب بالقرب من طريق وسائط النقل من 10- 30م مما يؤدي إلى تراكم عنصر الرصاص في التربة. وسرعة تراكمه في التربة حوالي 10- 20 جزء/ دقيقة. وإن

الجزيئات الأصغر حجماً المعلقة في الهواء فهي تترسب على بعد 100م من الطريـق وهـي تحتوي رصاص حوالي 50 جزء/ دقيقة، وهي تـشكل منطقـة تلـوث ثانيـة، أمـا الجزيئـات الأصغر حجماً فإن الهواء باستطاعته أن يحملها لأكثر بعداً.

وإن مستوى الرصاص الذي يترسب على سطح النباتات القريبة من الطريق فيكـون في 5- 20؛ 20- 50 وحتى 100- 200 مرة من مستوى الرصاص في المناطق الزراعية البعيدة سواء كانت عـشبية أو أشـجار مثمـرة أو غـير ذلـك. يـشكل الرصـاص 75% مـن مجمـوع المعادن التي يحتويها البنزين وهي تنطلـق مـع الغـازات العادمـة بـشكل جزيئـات. وإن مكونـات الجزيئـات الـصلبة للغـازات العادمـة تتغـير $Pb(OH)Br$; $PbBrcl$; $pb Br_2$ $(pbo)_2pbBrcl$; $(pbo)_2pbBr_2$ ؛ حتـى كربونـات، أكاسـيد كربونيـة ومؤكـسدات، ومـن البديهي فإن طرق التفاعلات البسيطة عندما OH^-, CO_3^{2-} تبديل -Br، وفي بعض الحالات Cl^- من هالوجينات الرصاص المتواجدة في الغـازات العـادم. وإن الجزيئـات الـصلبة ومـن حيث مكوناتها في الهواء الجوي فهي تكون كثيرة بالقرب من الطريـق وتـنخفض تـدريجياً كلما ازداد البعد عن المصدر. وكذلك أن كمية الرصـاص بعلاقـة مـع كثافـة الحركـة، قـرب الطرق، السرعة واتجاه الرياح. الجدول رقم (8) يوضح تركيز الرصاص في النباتـات الناميـة في المناطق ذات الكثافة العالية لوسائط النقل.

الجدول (8)

انتشار الرصاص وحتى 200م بعد (مليون$^{-1}$) Wheeler G.L. 1979

البعد عن الطريق م	عدد السيارات في اليوم			
	550	1500	2300	8100
0,3	20	29	32	196
1	14	19	22	76
5	12	17	19	46
10	11	15	16	30
15	11	12	14	26
20	10	11	13	21
25	9	10	12	17
30	9	9	11	16
40	8	10	11	13
30	8	9	9	10
50	8	9	9	10
100	8	9	9	10
200	8	9	9	9

مع العلم أن هناك زيـادة في تركيـز عنـصر الرصـاص لـدى الهـواء والغطـاء النباتي في اتجاه الرياح السائدة. وإن مكونات الرصاص في النبات بـسرعة تناقـصت كلما ازداد البعد عن الطريق، والسبب في ذلك الانخفاض لدى الرصاص في النبـات يعــود لانخفــاض دور المــسبب وهــو الطريــق. وإن تركيــز الرصــاص في أوراق

الخـضراوات والأشـجار الناميـة بـالقرب مـن الطريـق أعـلى مـما هـو عليـه لـدى أوراق الخضراوات والأشجار التي تنمو على مـسافة أبعـد مـن الطريـق، وكـذلك الأعـشاب أيـضاً تحتوي على كمية كافية من الرصاص فهي تصل لمستوى الخطـر لـذلك فهـي خطـرة عـلى صحة الحيوانات الرعوية.

النباتات التي تنمو في المدن فإنها تحتوي على تركيزات عالية مـن العنـصر المـذكور وقد يزيد كثيراً عما هو عليه لدى النباتات النامية بجوار الطرق وعـلى امتـدادها. وكـذلك ممكن أن يكون التلوث بعنصر الرصاص في المناطق الصناعية. وأن مكوناته في الخـضراوات وأشجار الفاكهة النامية بالقرب من المعامل الخاصة بإنتـاج ومعاملـة الرصـاص ممكـن أن يصل التركيز فيها إلى 10- 110 مرة أكثر من العادية. إن القسم الأكبر من الرصـاص والـذي يصل للنباتـات يكـون بـشكل غبـار عـلى سـطح النباتـات. وإن تـوزع أحجامـه ومكوناتـه الكيميائية للرصاص فإنه عـادة يتواجـد بـشكل جزيئـات بلوريـة صـغيرة جـداً أو بلـورات صغيرة جداً مع قياسات كبيرة من 1- 25ميكرون.

- **الزئبق (Hg):**

يدخل الزئبق الهواء الجوي من التربة وذلك بـالتبخر نتيجـة التعفنـات التـي تطـرأ عـلى النباتات داخل التربة وكذلك من خلال عمليات التسخين. وإن القسم الأكبر مـن الزئبـق الغـازي تمتصه الجزيئات الصلبة المتواجدة في الهـواء، ويعـود للتربـة ثانيـةً بطريقـة الترسـب الجـاف أو الرطب. وإن تواجد الزئبق في الأماكن السكانية يكون نتيجة عمليات التدفئة، عنـد ذلـك يتبخـر الزئبق مع المحتويات الأخرى التي تتواجد في الوقود أو الخامات. وإن هـذه المـصادر ممكـن أن تكون معامل الفولاذ، مصانع الأدوات والمعدات الكهربائيـة وكـذلك معامـل الإسـمنت ومعامـل السيراميك وكذلك الوقود المستخدم في التدفئة كما سبق ذكره. أما المصادر الطبيعية فينمـي لهـا

النبات والتربة وحرائق الغابات. أما المصادر الزراعية للزئبق تعتبر المبيدات الحشرية والتحرر البطيء لبقايا الزئبق. وإن مركبات الزئبق في التربة تختزل حتى تصبح زئبق أصلي، والذي يتحرر بشكل بخار. وإن مركبات الزئبق في المبيدات الحشرية فهي أيضاً تختزل في التربة، خاصة عند تواجد مكونات كبيرة للمادة العضوية. مع العلم أن تحرر الزئبق بشكل بخار من التربة في البيوت الزجاجية أو البلاستيكية والتي تتميز بالانغلاق المحكم فيمكن أن يسبب تأثير مباشر وضار على النباتات.

- **النيكل (Ni):**

يمكن ملاحظة النيكل بشكل كبير في المناطق التي تتميز بحركة شديدة لوسائط النقل ويعود السبب لتواجد العنصر المذكور في البنزين الذي يستخدم وقوداً لمحركات الاحتراق الداخلي. وتركز النيكل في أنسجة النباتات يسبب تسمم ولكن التأثير يتوقف على العوامل الخارجية المحيطة به. وهناك علاقة بين مكونات النيكل والكالسيوم، والنيكل والمنغنيز، ولكن العلاقة الإيجابية كانت بين محتويات النيكل والكوبالت، والكوبالت والمنغنيز. يتواجد النيكل في أنسجة الأوراق بشكل جزيئات منخفضة الانحلال في المحلول المائي المركب وتتوضع في غلاف خلايا البشرة أو القريبة منها.

- **السيلينيوم (Se):**

عنصر مهم للحيوانات وليس للنباتات. وإن مصدره الأساسي الذي يدفعه للتواجد في الوسط المحيط هي البراكين ومعادن مركبات الكبريت، المتشكلة عند عملية الاحتراق. وإن المصدر الثانوي له يعتبر تبخره من المصادر البيولوجية المحتوية على السلينيوم. وعند احتراق الفحم الحجري والمواد النفطية تنمو كمية الجزيئات الصلبة المحتوية على العنصر المذكور وSeo_2.

- **الفانديوم (V):**

إن المصدر الطبيعي والأساسي للعنصر المذكور هو الغبار الريحي المتشكل والمار من المنحدرات والترب. أما في الوسط المحيط فيتكون نتيجة نشاط الإنسان اليومي وذلك في الأساس عند احتراق الوقود. وله المقدرة على التراكم وبشكل ملحوظ في أنسجة النباتات.

- **خليط العناصر الصغرى**

كثير من الأبحاث قد تناولت دراسة العناصر الصغرى بشكل مجموعات وليس بشكل فردي. وإن كمية العناصر الصغرى V; Ni; Cr; Cd; Cu; Zn ترمى في الوسط المحيط بشكل ملحوظ نتيجة النشاط الصناعي وحرق الوقود اللازمين لصناعة ولوسائط النقل. وإن تلوث الغطاء النباتي بالعناصر Zn; Ni; Cd; Pb في المناطق الصناعية يتم عن طريق ترسب هذه العناصر من الهواء الجوي. وإن احتواء البنزين وزيوت المحركات وعجلات وسائط النقل على Zn; Ni; Cd; Pb مما أدى إلى زيادة مكونات هذه العناصر وغيرها في النباتات الممتدة على جانبي الطرق، وكلما زاد البعد عن الطريق فإن هذه المكونات من العناصر الملوثة تتناقض. وإن تركيز العناصر الصغرى يتوقف بقوة على القسم النباتي، والسبب في ذلك فإن مكونات العناصر الصغرى في ثمار البساتين والخضراوات منخفض كثيرا مما هو عليه في أوراق الخضراوات والثمار الجذرية. بالإضافة إلى ذلك فإن التلوث ممكن أن يصبح له تأثير على تمعدن الأزوت في التربة وكذلك على المراعي الطبيعية. إن العناصر الصغرى Pb ; Zn ; Ni; Cd ؛ فإنها بسهولة تتطاير عند الحرارة، وهذا أمر طبيعي يحدث في العمليات الصناعية. وينتج عن ذلك برمي هذه العناصر في الهواء الجوي خاصة بالمناطق السكانية أيضاً.

وليس غريباً الآن أن يحتوي الهواء الجوي على كميات كبيرة من نظائر المواد الإشعاعية Zn; Pb; Cd; وذلك من جراء التفجيرات النووية. وإن هذه المواد بمقدورها الوصول إلى النبات وذلك بطرق مختلفة سواء عن طريق التساقط بفعل الثقل وهذا يحدث للجزيئات الكبيرة أو عن طريق الهطول المطري وكذلك عن طريق الترسيب الجاف للجزيئات الصلبة الصغيرة جداً. مع العلم أن النباتات التي تنمو في حدائق المدن تحتوي على Pb; Ni; Zn وغيرها أكثر من النباتات النامية في المناطق الزراعية البعيدة.

وإن مكونات العناصر الصغرى تتناقص كلما ازداد العمق في التربة. حيث أن مكونات العناصر الصغرى تتناقص على عمق 40- 50 سم تقريباً لدى جميع العناصر تحوي 1,5- 1,9مرة. أما التوتياء والفانديوم في 3 مرة. وإن النباتات النامية على الترب الملوثة تقوم بامتصاص العناصر السامة وتتراكم داخلها. وإن Zn تمتصه الجذور من التربة ويتراكم في الكتلة الخضراء، وفي نفس الوقت فإن الرصاص يبقي قسماً كبيراً في الجذور، ومن حيث المقدرة على ادخار العناصر الصغرى داخل أعضاء النباتات الشجرية فإنه يمكن توزيعها كالتالي وذلك حسب البعد القلف، الأفرع، الأوراق (الأوراق الإبرية بالنسبة للصنوبريات ودائمة الخضرة).

3- النبات وامتصاصه للعناصر الصغرى الهوائية

توجد وسط العناصر الصغرى علاقات متبادلة مختلفة فيما بينها وكذلك معايير امتصاص وتراكم. وإن الجزيئات الصلبة ومن ضمنها العناصر الصغرى تلتصق بالنبات على أجزائه فوق سطح الأرض ومن ثم تمتصها من خلال الفتحات المسامية التي تتواجد عليه. ويبقى الرصاص في الأساس بشكل رواسب على سطح النبات. وفي نفس الوقت فإن كل من Zn وCd يتسرب إلى داخل

الأوراق. وإن مقدرة الأوراق على امتصاص العناصر الصغرى فهو محدد. وفي حال الـتمكن من التأثير على سطح النبات ملامح الغير القابلة للانحـلال كرصـاص فإنـه مـن الممكـن أن تبقى على الجهة الخارجية للبشرة. وفي حال حدوث الهطـول بـشكل قابـل للانحـلال مثـل PbclBr أو تصبح منحلة بعد التأثير فإن احتمال وصولها إلى داخل النبات عبر الثغـرات أو الفتحات الأخرى. وحتى بعد تـأثير طويـل فـإن كميـة ملحوظـة مـن الرصـاص ممكـن أن تترسب عبر البشرة الميتة. وإن عزل أو اختفاء الطبقة الـشمعية يـؤدي إلى زيـادة النفاذيـة عبر بعض الثغرات. وإن النفاذية تتوقف إلى درجة كبيرة حسب الأنواع النباتية وليس على أساس سماكة البشرة الميتـة. وإن درجـة امتـصاص النبـات للعنـاصر الـصغرى عـن طريـق الأوراق تحددها في الأساس عوامـل خارجيـة وعمـر ونـوع النبـات. والأنـواع النباتيـة غـير متساوية من حيث شكل البشرة وتركيب طبقتها الشمعية، وعدد وتوزع كثافة المسامات.

إن تركيز الرصاص في الأزهار والـثمار أقـل بكثـير مـما هـو عليـه لـدى بقيـة أجـزاء النبات، عدا ذلـك فـإن العلاقـة ضـعيفة بينـه وبـين التركيـز الخـارجي لـه. وكـذلك تركيـز الرصـاص في الجـذور والنمـوات الجذريـة الجديـدة فهـو أيـضاً بعلاقـة ضـعيفة مـع تـأثير الجزيئات الصلبة المحتوية على الرصاص.

إن ميكانيكية امتصاص العنـاصر الـصغرى والنقـل الموضـعي يحـدده التـوزع النهـائي في النبات. فمن حيث مفهوم امتصاص Zn ، Cu ، Mn ، Fe وMo حيث تحتل مكاناً متوسطاً مـن ناحية الامتصاص، والسبب في ذلك يعود لكون هذه العناصر تحتل موقعاً منخفـضاً في الترتيـب. وإن قسم كبير من الجزيئات الصلبة للعناصر الصغرى فإن بمقدرته الترسيب عـلى الأوراق ومـن ثم التسرب لداخل الأوراق عبر الثغرات. مع العلم أن كثـير مـن الجزيئـات الـصلبة ذات المنـشأ الصناعي تملك أحجامـاً صـغيرةً وأن قطرهـا أقـل مـن 1ميكـرون، أمـا قطـر فتحـات الثغـرات

فيتراوح بين 5- 30ميكورن ففي هذه الحالة ممكن للجزيئات الصغيرة جدا أن تتسرب عبرها.

إن المعرفة قليلة عن ميكانيكية ضم العناصر الصغرى في المحلول على سطح الأوراق، وأن عملية امتصاص هذه العناصر تتأثر بعملية تشكل غشاء من ثاني أكسيد الكربون – الماء.

في الظروف الطبيعية فإن الجزئيات الصلبة للعناصر الصغرى ممكن أن تزال من على سطح الأوراق وذلك بفعل الأمطار، الرياح أو من قبل الطبقة الجلدية الشمعية. بالإضافة إلى ذلك يحدث استبعاد للعناصر الصغرى من حساب الامتصاص من قبل الأوراق وأن الجزئيات ممكن أن تتناثر إلى أوراق أخرى أو نبات أو على التربة بشكل محلول أو جزئيات صغيرة.

وإن التجمع والتراكم الكبير للعناصر الصغرى يلاحظ في أماكن العروق والمسامات التي توجد على الأوراق وذلك من السطح العلوي للتاج.

العناصر الصغرى السامة تدخل النبات ليس فقط عن طريق امتصاصها من التربة ولكن عن طريق ترسيب الغبار على سطح الأوراق. وإن بقاء الغبار على أوراق النبات له تأثير فيزيائي وكيميائي، وأن تواجد العناصر الصغرى في أعضاء التمثيل يتوقف على نوع النبات.

4- التفاعل والتأثير المتبادل للعناصر الصغرى

تتفاعل العناصر الصغرى ضمن نظام معقد لذلك يتطلب النظر بشكل منفصل لكل عنصر بعيدا عن الآخر وكذلك بشكل مجموعات، وذلك عن تقيم الأضرار التي تحدثها وتلحقها بالنبات. وإن العناصر الصغرى التي تكون بشكل مجاميع أي مخاليط فهي قادرة على التفاعل وأن رد فعل النبات مختلف عما هو عليه

في حال التأثير للعناصر الصغرى بشكل منفرد. فمثلاً عند تأثير خليط من Cu; Cd في أنسجة النبات مما يؤدي إلى تباطئ النمو. تؤثر العناصر الصغرى عندما تكون بشكل مخلوط على الكائنات الحية المتواجدة على الأوراق مع العلم أن مصدر ذلك المخلوط هو الجو الخارجي. وسبب تأثير الكائنات الحية بمخلوط العناصر الصغرى يعود للخواص التي تملكها الكائنات المذكورة لبعض العناصر الداخلة في المخاليط. وإن التأثير مستمر للعناصر الصغرى حتى على الميكروبات المتواجدة على الأوراق المتساقطة، وأن التأثير على النشاط الحيوي للميكروبات ينعكس سلباً على حيوية الميكروبات المسببة أمراضاً للنباتات. وإن تباطؤ النمو عند النبات نتيجة التأثير الطبيعي للعناصر الصغرى ممكن أن يؤدي إلى تغير في خواص ومقدرة التنافس أو بناء الكائنات الحية الدقيقة التي تتطور على سطح النبات.

التأثير المتبادل للعناصر الصغرى والكائنات الحية الدقيقة تقوم الأخيرة بتحليل المواد العضوية المتراكمة على سطح التربة قرب المشاريع الصناعية ومعامل التعدين والتي تقوم برمي Pb; Ni; Cd; Zn; Cu فإن سرعة التحلل للمواد العضوية التي في التربة الحراجية الحامضية فإنها تنخفض تحت تأثير تركيز العناصر الصغرى عند توفر الماء الكافي.

5- التأثير المتبادل للعناصر الصغرى مع المواد الملوثة الأخرى في الهواء

إن زيادة تركيز العناصر الصغرى في أنسجة النبات ممكن أن يؤدي إلى إحداث تغير في رد فعل النبات من حيث التأثير بالمواد الغازية الملوثة. فعند وجود Cd أو Ni في أنسجة نبات البازيلاء عند المستوى الذي يؤدي إلى وقف النمو فإنه يزيد من التأثير السام للأزون.

وعند حدوث تباطؤ في النمو لدى النبات تحت تأثير العناصر الـصغرى فـإن الأزون يسبب ضرراً أقل بالمقارنة مع النباتات في الظروف المثالية. وإن رد فعل النبات عـلى تـأثير O3 فإن علاقته تتغير حسب النوع المستخدم Cd أو Ni (أملاح حامض الكبريتيـك، أمـلاح حامض الهيدروكلوريك أو أملاح حامض الأزوتيك). و درجة حساسية وتأثير النبات بـــ O3 والعناصر الصغرى تتوقف على نوع النبـات. وأدى التـأثير المتبـادل للعنـاصر الـصغرى إلى إظهار حساسية لـ O3 عند نبات الفاصولياء النامي على ترب تزيد فيهـا محتويـات Zn في متناول النبات. الجدول رقم (9).

الجدول (9)

اختلاف تأثير تركيز Zn في التربة على نمو الفاصولياء وحساسيتها للأزون (Mcllveen. W, spots. R-1975)

محتويات Znملغ/ غ		الوزن الجاف للبراعم غ	الأزون الضار %
المضاف للتربة	المتوفر في التربة		
1	2	3	4
0.0	0.60	0.74	21
18.0	0.66	0.69	23
45.0	1.55	0.62	28
135.0	4.18	0.70	32

وإن التـأثير المـشترك So_2 وCd يـؤدي إلى تحطـيم التمثيـل الكلـوروفيلي وعمليـة النـتح عنـد أوراق (Acer saccharinum). وإن Cd قـد يـسبب تنـاقص شـدة التمثيـل

الكلوروفيلي بوجود So_2 أصبح أكثر، وأن مقاومـة الأوراق للانتـشار ازدادت وحتـى تحـت تأثير Cd وكذلك تحت تأثير So_2، انظر الجدول رقم (10).

الجدول (10)

التبخر وسرعة ومجموع التمثيل الكلوروفيلي للأوراق Acer saccharinum بوجود Cd لمدة 45 ساعة وبعد ذلك So_2 لمدة 30 دقيقة.

تركيز Cd مليون$^{-1}$	تبخر H_2Oملغ/دم^2/ ساعة			مجموع التمثيل الكلوروفيلي CO_2ملغ/دم^2/ ساعة		
	0	1	2	0	1	2
0	91.3	66.7	59.7	2.12	1.10	0.91
5	109.6	107.8	101.2	2.90	1.99	2.01
10	87.6	69.2	63.3	2.01	1.06	1.08
20	71.2	63.1	67.0	1.34	0.58	0.36

وعند إضافة Cu في الوسط الجذري، يؤدي إلى تناقص درجة التضرر من So_2. انظر الجدول رقم (11). وإن مقاومة الثغرات للانتشار تحـت تـأثير Cu تـزداد، هـذا يـؤدي إلى تناقص امتصاص So_2.

الجدول (11)

تأثير إضافة Cu في الوسط الجذري، يسبب أقل أضرار لنبات الشعير باستخدام So_2 تركيز 1,00 ± 0,1 مليون$^{-1}$ لمدة 13 ساعة

تركيز Cu مليون$^{-1}$	وزن الكتلة الجافة النباتية غ	مساحة الورقة الثالثة سم^2	محتويات Cu مليون$^{-1}$		الأضرار	
			على سطح الأرض	الجذور	الأولى	الثانية
12	0.36	139.7	60	163	2.7	9.0
10	0.25	138.5	61	249	1.7	9.3
50	0.20	111.0	59	1040	0	3.1
100	0.15	64.7	171	2272	0	1.5

ينتج مما سبق أن النباتات التي تنمو في مناطق المتواجدة بالقرب من معامل التعدين، ممكن أن تملك حساسية أقل إلى So_2 وذلك من حساب زيادة محتويات Cu في أنسجتها.

6- طريقة تأثير العناصر الصغرى

من الصعب تحديد كمية العناصر الصغرى الداخلة في النشاط البيولوجي في سيتوبلازما الخلايا، وأن تلوث سطح الأوراق للنباتات يستمر في البقاء من حيث التأثير حتى بعد الغسيل العام، وهذا ممكن أن ينعكس على نتائج التحليل الكيميائي للأوراق. عدا ذلك فإن الجزيئات الصلبة المؤثرة على الأوراق والمتسربة لداخل النبات عبر الفتحات المسامية المتواجدة على الأوراق ممكن أن تسبب تأثير سام أو قد يسبب تناقص في حجم النشاط البيولوجي داخل النبات، وهذا لا وهذا

لا يخص فقط العناصر السامة التي تتسرب عبر الفتحات المسامية المتواجدة على الأوراق فقط وإنما أيضاً العناصر الصغرى الداخل إلى النبات عبر الجذور. وإن امتصاص Cd عبر المجموع الجذري للنبات تكون سميته أكثر من امتصاصه عبر الأوراق بـ 16 مرة، مع العلم أن وصول Cd وانتقاله لداخل الأوراق يتم بسهولة.

إن سمية العناصر الصغرى ممكن أن تتغير بقوة، فبعض الأنواع النباتية قد حددت لها صفة السمية. وعلى سبيل المثال فإن صفة السمية لنبات الشعير ينظر لها $Zn<Ni<Cd<Cu<Pb<Mg$. السمية لبعض العناصر الصغرى ممكن أن تكون عالية جداً لدرجة أن النمو عند النبات يتباطئ. وإن التركيز المنخفض للعناصر الصغرى يؤثر أيضاً وبقوة على العمليات المختلفة داخل النبات بما في ذلك التمثيل الكلوروفيلي والتنفس.

وإن التركيز الذي يساوي 1مليون$^{-1}$ من عنصر الرصاص له القدرة على إيقاف العمليات التي تحدث داخل النبات والخاصة بالنشاط الفيزيولوجي والبيوكيميائي. والتركيز المنخفض نسبياً لكل من Ni, Cd, Pb يؤثر على مستوى التمثيل الكلوروفيلي والتبخر وذلك من خلال تحطيم وظائف الثغرات المتواجدة على سطح الأوراق. وكذلك لعنصر الكادميوم أيضاً تأثير قوي على عملية التمثيل الكلوروفيلي وحتى لو كان في حالة انخفاضه له التأثير أيضاً على النشاط المذكور ويرجع السبب في ذلك لمقدرته على إحداث تغير في تركيز محتويات البلاستيدات الخضراء. وقبل كل شيء فإن للعنصر المذكور له تأثير على عملية التنفس. وهناك تأثير متبادل للكادميوم على غشاء الحبيبات الدقيقة في السيتوبلازما. وإن الحبيبات الدقيقة المتواجدة في السيتوبلازما تقوم بامتصاص كل من Ni, Co, Zn, Cd وMn وبدرجة متساوية تقريباً. التأثير المشترك لكل من Cd وPb يسبب انتفاخ ملحوظ لدى الحبيبات الدقيقة في السيتوبلازما، وهذا يؤثر على خاصية نفاذية غشاء الحبيبات التي تسببها تلك العناصر.

إن مصطلح التسمية بالعناصر الصغرى وليس بالمعادن الثقيلة يكون استخدامه أكثر دقة، وحيث أن قسم من هذه العناصر يتواجد في الهواء الجوي لبعض المناطق وبكميات كافية، لذلك فله تأثير سام على النبات. وإن القسم الأكبر من هذه العناصر الصغرى تلفظ في الهواء الجوي من قبل كثير من المعامل وخاصة التعدين منها وكذلك عند استخدام المبيدات الحشرية. وبالإضافة لتلك المصادر هناك مصدر أساسي للتلوث بالعناصر المذكورة وهي وسائط النقل المختلفة والمنشآت الصناعية والتي تعمل على حرق الوقود الصلب والسائل والغازي أيضاً. وتعتبر العناصر الأساسية لمجموعة العناصر الصغرى وهي الزرنيخ والكادميوم والنحاس والرصاص، وهذه العناصر تتراكم على السطح العلوي لأوراق النباتات على شكل حبيبات غير منحلة، وبنفس الوقت ممكن للنبات أن يمتصها وبكميات كبيرة من خلال المجموع الجذري وتسبب له أضراراً إضافية.

إذاً فإن التلوث بالعناصر الصغرى ممكن أن يؤدي إلى تحطيم وظائف الثغرات، وتدمير عملية التمثيل الكلوروفيلي أو التنفس أو تغير نفاذية غشاء الحبيبات الدقيقة المتواجدة في السيتوبلازما.

7- تحديد العناصر الصغرى الملوثة

إن تحليل أنسجة النبات تعطي معلومات عن العلاقة المتبادلة بين تركيز كثير من العناصر الصغرى في الأنسجة والمواد السامة. وإن تحليل الأنسجة النباتية لتحديد المحتوى العام للعناصر الصغرى في الأوراق ممكن أن يكون غير كافي لتحديد ومعرفة درجة الجزيئات الصلبة الملوثة، وذلك بالإضافة إلى العناصر الصغرى التي تمتصها النباتات من خلال الأوراق فيمكن أن تمتصها من خلال المجموع الجذري.

وإن التحليل لمعرفة مكونات V حيث يوضح التلوث من المصدر النفطي، فهو شديد الحساسية، لذلك فإن هذا العنصر ممكن أن يخدم بمثابة كاشف لحركة الجزيئات الصلبة، التي تتشكل عند احتراق الوقود. تمثل طرق التلوث Pb وAs في المشاريع الصناعية التي تقوم على أساس معاملة الرصاص، وأن غياب As في محيط مصادر أخرى Pb يوضح أن As ممكن استخدامه بمثابة كاشف لبعض أنواع الملوثات الصناعية للرصاص.

إن استخدام كواشف بيولوجية وذلك بأخذ عينات من الهواء بمساعدة المصفي لتحديد تلوث الهواء الجوي بالعناصر الصغرى. وسط ذلك فبعض أنواع الطحالب لها خاصية فعالة لتحديد كمية الجزيئات الهاطلة.

حيث أن شوادر العناصر الصغرى تمتص بكثرة على حساب قوة شوادر حجم أنسجة الطحلب، وكمية ليست كبيرة ممكن ملاحظتها عند الترسيب سواء الرطب أو الجاف.

الطحالب Hypnus Cupressiforme يستخدم بشكل واسع بمثابة كاشف وبشكل كامل للملوثات الهوائية في الوسط من Ni; Cu; Pb; Zn وMg. حيث أن النبات يتم استخدامه في أماكن مكشوفة للهواء كشبكة لاقطة لمدة عدة أسابيع أو أشهر. وطريقة أخرى يتم استخدام أنواع من الطحالب من أصل Sphagnum، يعلق في كيس وذلك لسهولة الفصل عن النباتات الطبيعية.

ويمكن استخدام كواشف للجزيئات الصلبة للعناصر الصغرى ممكن استخدام أعشاب ضمنها Festuca rubra. وإن استخدام الشوادر الكرب بمثابة كاشف لتلوث بعنصر Hg باعتباره شديد التقبل لإظهار الأضرار التي يحدثها Hg.

الفصل الخامس

تنظيم تلوث الهواء الجوي

تنظيم تلوث الهواء الجوي

إن النشاط الاقتصادي غالباً ما يؤدي إلى حدوث تغيرات في حالة الوسط المحيط. ومن الطبيعي أن مقياس هذه التغيرات يتوقف كثيراً على مصدر وطرق الحصول على الطاقة، نوعية الخامات المستخدمة، مواصفات الإنتاج الصناعي، خاصية توزع المنشآت، مستوى الإنتاج. وأن خطورة تأثير تلوث الهواء الجوي على الوسط المحيط يتوقف على مختلف نشاطات فروع الصناعات الثقيلة، قبل كل شيء إنتاج ومعاملة المعادن، التركيب الكيميائي للخامات التي تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية (فحم حجري، منتجات نفطية، غاز طبيعي).

وعلى أساس تقدير حجم الضرر للنبات، الذي يحدث في المجتمعات الطبيعية أو الاصطناعية تحت التأثير الحاد لتلوث الهواء الجوي، فمن الممكن تحليل وتغير في الخواص الوظيفية للنباتات، إنتاجية الكتلة البيولوجية، وكذلك تنفيذ خطة تتضمن حساب مجموع الخسائر الاقتصادية.

1- خطورة تأثير تلوث الهواء على الوسط المحيط

إن خطورة تأثير تلوث الهواء على الغطاء النباتي يتوقف على مستوى التطور الصناعي للدولة المعنية، والتي يمكن أن تصرف كمية الطاقة التي تستهلكها راحة السكان. وهذا التوضيح يظهر كمية الوقود في الأطنان، وأن واحد كغ يسمح بإنتاج Cal 7000/ طاقة.

وعند التعبير عن درجة متوسط الخطر للوسط المحيط من خلال ذلك التقدير مع استخدام نفس المعطيات للمناطق الكثيفة السكان، فمن الممكن الحصول على تصور صحيح لمثل هذه الدول مثل ألمانيا، إنكلترا، فرنسا، أمريكا. فعند تقدير إمكانية خطر تأثير التلوث على الغطاء النباتي فمن الضروري أيضاً دراسة أو

الأخذ في الحسبان كثافة السكان، مساحة الدولة. وإن دراسة هـذه العوامـل تـساعد عـلى الخروج في استنتاج للدولة ليست كبيرة من حيـث المـساحة ومتطـورة صـناعياً مـع كثافـة سكانية عالية ويكون خطر تأثير تلوث الهـواء عـلى الغطـاء النبـاتي عـالي جـداً. في الوقـت الحاضر فإن دراسة الخطوات تكون أكثر فعالية تهدف إلى حماية النظم البيئيـة الطبيعيـة والاصطناعية من تأثير التلوث، تضع حلولاً اقتصاديةً لهذه المـشكلة، تـدرس وضـع النبـات والحيوان في ظروف الإنتاج الصناعي، فمن الضروري استخدام وبشكل واسع طـرق ونظـم تحليليـة. اسـتخدامها يـسمح بتحديـد: العوامـل المـؤثرة عـلى الغطـاء النبـاتي المتواجـد في المنطقة، أنواع التأثير والذي يظهر في بعض عناصر الوسط المحيط الأكثر حساسية.

إن المعلومات الأولية المهمة لحساب طرق تقدير الخسائر المـسببة للنظـام البيئـي تعتبر الأولى وهي قيمة مستوى تلوث الهواء الجوي، المسبب خطراً للنظم البيئية، والثانية هي حجم الإنتاج الصناعي وإنتاج الطاقة. وعلى أساس التقدير الذي ذكر سابقاً، يجـب أن يكون قد درس ضرورة تنظيم خطوات تهدف إلى الحد من الخسائر وحتى تقليلها، المؤثرة على الوسط المحيط بالمقارنة مع المستوى الحديث.

2- مراقبة مصادر تلوث الهواء الجوي

الاتجاه الرئيسي الفعال في خفض ظاهرة تلوث الهواء وتأثيره عـلى النبـات يعتـبر في خفض انبعاث المـواد الملوثـة إلى المـستوى غـير الخطـر. هـذه المـشكلة معقـدة ويتطلـب حلها طرق مختلفة، تبدأ بالمواد الخام والتي يجب أن تكون أكثر جودة، التوزيـع المناسـب للمؤسسات الصناعية عـلى جميـع المـساحة وعـدم تركيزهـا في منـاطق معينـة، اسـتخدام تجهيزات حديثة تهـدف إلى خفـض ظـاهرة المـواد الملوثـة التـي تلفـظ في الهـواء الجـوي. ومـــن الـــضروري تـــأمين مراقبـــة تلـــوث الهـــواء مـــن مـــصادره المختلفـــة مثـــل

(المؤسسات الصناعية، وقود ومحطات توليد الطاقة الكهربائية) بالمقارنة مع لفظ المواد الملوثة من المصادر المتحركة مثل وسائط النقل المختلفة.

أ- مؤكسدات الكبريت

الطرق الأكثر انتشاراً لخفض تركيز ثاني أكسيد الكبريت من الهواء تعتبر:

1. الأبعاد المباشر للكبريت من الغازات العادمة.
2. تنقية الوقود المستخدم من الكبريت ومركباته.

في الوقت الحاضر لقد أعد أكثر من مئة طريقة لتنقية الغازات العادمة، ولكن الكلفة العالية للتجهيزات ونظام التنقية وكذلك الكمية الملحوظة المتكونة عند تنقية المخارج، لذلك فإن عدد قليل من الطرق التنقية وجدت استخدامات عملية. ولإبعاد ثاني أكسيد الكبريت من الغازات العادمة يستخدم وبشكل واسع طريقة الامتصاص الجاف. فإن استخدام هذه الطريقة على وقود محطات توليد الطاقة الكهربائية، سمحت أو أدت إلى خفض حجم لفظ ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي إلى 80- 90% في إنكلترا وألمانيا.

طرق تنقية الغازات العادمة من ثاني أكسيد الكبريت بطريقة الامتصاص الجاف وذلك من خلال امتصاص هذه المكونات من على سطح الفحم النشط. وإن فعالية أبعاد ثاني أكسيد الكبريت من الغازات العادمة بمساعدة هذه الطريقة تكون 90%. وخلال عملية التنقية يحدث تفاعل للمنتجات فيتشكل أحماض كبريتية. ونتيجة استخدام هذه الطريقة في المشاريع الصناعية أدت إلى خفض أكثر من 65- 70%.

وإن دراسة أبعاد ثاني أكسيد الكبريت من الغازات العادمة تمت بمعهد إحدى الشركات للأبحاث الصناعية في طوكيو. وقد أجريت التجربة على وقود

محطة توليد الطاقة الكهربائية. ونتيجة التجربة التـي نفـذت فقـد انخفـض الكبريـت إلى 90%. وفي الوقت الحاضر فـإن الأمـل كبـير في خفـض انبعـاث ثـاني أكـسيد الكبريـت مـن مصادره المختلفة ورميـه في الهـواء الجـوي وذلـك مـن خـلال تنقيـة الوقـود الـصلب مـن مكونات الكبريت وكذلك باستخدام تجهيزات حديثة خاصة في عمليات حرق الوقود.

ب- خفض انبعاث مؤكسدات الكيمياء الضوئية

إن خفض الوقـود الـسائل المـستخدم في الاحـتراق كـالبنزين والمـازوت مـن حيـث الكمية يؤدي إلى القليـل مـن لفـظ في الهـواء الجـوي لمركبـات مثـل أكـسيد ثـاني أكـسيد الكربون، ثاني أكسيد الكبريت، أكاسيد الأزوت، الهيـدروجين، هيـدروكربونات. وإن نتيجـة رمي أو لفظ ذلك المركبات الموجودة في الهواء الجوي وتشكيل الأزوت وبروكسيد اسـتيلين نترات، والتي تسبب أضرار قوية هامة التأثير على النبات.

ومن الطبيعي أن مصدر هذه المواد كثير، فهذا جوهري فمن الصعب حـل مـسألة أبعاد مؤكسدات الكيمياء الضوئية من الهواء الجوي. حجم انبعاثها في الهـواء فقـد اقـترح عـدة طـرق مختلفـة في اليابـان وأمريكـا، في الأمـاكن التـي سـجل فيهـا محتويـات عاليـة للمؤكسدات الكيمياء الضوئية في الهواء. ولكن عند البحث على حلول أكثر اقتصادية لحـل هـذه المـسألة فقـد اصـطدمت عمليـة البحـث بكثـير مـن مـشاكل التجهيـز الأولى. ومـن الضروري توجيه البحث إلى خفض انبعاث الكيمياء الضوئية في الهواء الجوي وهذا ينحصر في إقامة محركات جيدة وتغير محتويات الوقود المستعمل.

جـ- خفض انبعاث فلوريد الهيدروجين من المشاريع الصناعية

فلوريد الهيدروجين جيد الانحلال في الماء، لذلك فإن استخدام أبراج الري لتنقية غازات الأدخنة تسمح أو تساعد إلى خفض تركيز فلوريد الهيدروجين أكثر من 97%. والطرق الأكثر فعالية لتنقية مخلفات المؤسسات الصناعية من فلوريد الهيدروجين باستخدام ظاهرة المصفي، والذي يحتوي على كربون الكالسيوم. فإن استخدام نظم تنقية تعمل على هذه الطريقة تساعد إلى خفض محتويات فلوريد الهيدروجين في الغازات العادمة إلى 99.9%. فالمجمعات الصناعية التي تستخدم الطريقة المذكورة في التنقية يساعد في خفض تركيز فلوريد الهيدروجين في الغازات العادمة إلى أكثر من 99%. فإذا كانت المحتويات الخارجية لهذه المكونات تحتوي على 25- 4000ملغ/ م3. فإن فعالية أبعاد فلوريد الهيدروجين بالغازات المنطلقة فإنه من الممكن استخدام عملية الامتصاص من قبل الأبراج المحتوية على محلول هيدروكسيد الصوديوم أو الكالسيوم. ويتشكل عند استخدام هذه الطريقة فلوريدات الكالسيوم أو الصوديوم وبسهولة إبعادها من نظام التنقية.

وإن استخدام التجهيزات في عملية مراقبة التلوث ونظم تنقية مخلفات الصناعة في الهواء الجوي تسمح في الوصول إلى إرضاء اقتصادي في خفض محتويات فلوريد الهيدروجين ليقل عن 99% وينخفض تركيزه في الهواء الجوي إلى مستوى ذو قيمة قليلة.

د- إبعاد الأكثر انتشاراً في خفض محتويات الأكاسيد الأزوتية من المخلفات

الطريقة الأكثر انتشاراً في خفض محتويات الأكاسيد الأوزونية في المخلفات الصناعية تعتبر ظاهرة امتصاص هذه المحتويات من قبل الماء. ولكن يجب التأكيد هنا إلى أن هذه الطريقة غير كافية من حيث فعالية تنقية الأزوت من الهواء الملوث أو الغازات العادمة. وإن الأكثر فعالية لامتصاص الأكاسيد الأزوتية يلاحظ عند

رش تحت ضغط عالي تندفع بشكل قطرات صغيرة جداً. وإن استخدام أبـراج ري مـضادة لتيار الغاز وقطـرات مـاء تـساعد عـلى الإبعـاد الفعـال لأكاسـيد الأزوت عنـد تواجـدهم كمحتويـات غـير ملحوظـة في المـواد الغازيـة الملفوظـة. ولتنقيـة مخلفـات الـصناعة مـن الأكاسيد الأزوتية فمـن الممكـن اسـتخدام مـواد تمـتص هـذه المحتويـات مثـل سـليكاجل (مجفف شديد الامتصاص). في هذه الحالة فإن السطح يمتص ويبتلع جزيئات ثاني أكـسيد الأزوت محفزاً يغير خواص الأكسدة وأكسدة الأزوت.

وإن حماية النظم البيئية من التأثير الضار لتلوث الهواء مـن المـصادر الـصناعية في كثير من الأحيان يتوقف على التجهيـزات الحديثـة التـي تقـوم بإبعـاد المـواد الملوثـة مـن المخلفات التي ترميها المؤسسات الصناعية في الهواء الجوي، وكذلك تطور النظم المختـصة، التي يجب أن تعتبر أهمية المراقبة مفيدة لحالة تلوث الهواء الجوي.

3- تحديد تركيز المواد الملوثة في الهواء الجوي

واحد من أهم المسائل المراقبـة لتلـوث الهـواء هـي العمـل لتحديـد نظـام رسـمي لمحتويات المواد الملوثة في الهواء. كوضع مستوى أقصى لتركيز المواد الـسامة، والتـي يجـب أن لا تزيد عن مستوى معين خلال فترة محددة. ولتحديد مثل هذه القيم تجـري أبحـاث بعلاقة بين الجرعات المـؤثرة (حاصـل ضرب بـين تركيـز المـواد الـسامة المتواجـدة في زمـن التأثير) لمختلف الغازات الملوثة والفعالية المؤثرة على النباتات أو النظم البيئية. ويستخدم أحياناً من الوضع تضرر عضو نباتي منفصل، ليؤكد تـأثير التلـوث. ومـن الطبيعـي أن تـأثير التلوث ليس باستمرار قادراً على أن يظهر بشكل أضرار حادة للنبات (مثل اختفاء اللون لـدى الأوراق)، تحدده وتوصفه عملية التطور والنمو عند النبات، حجم تساقط الأوراق، تنـاقص أو انخفاض المحصول وإنتاجية الكتلة الخضراء. وفي حال أن الأضرار على النبـات لم تلاحـظ، فـإن دراسة الآثار الفيزيولوجيـة اللاحقـة لتـأثير الغـازات المختلفـة للمـواد الملوثـة تفـي بـالغرض.

إن الجرعة المسموحة ورد فعل النبات على تأثير المواد الملوثة ممكن أن تتغير تحت تـأثير ظروف الطقس، الخواص الوراثية للنبـات (الأصـول المختلفـة) مكونـات مختلـف الغـازات المواد الملوثة، استمرارية التأثير عند اختلاف التركيزات.

والحل لهذه المشاكل يوجد مخارج مختلفة تتلخص في العمل على تنظـيم مـستوى محتويات المواد الملوثة في الهواء الجوي.

1. وضع نظم لرمي المواد الملوثـة في الهـواء الجـوي، تحـدد مـن خلالهـا أسـس وضـع التركيز الأعظمي المسموح به من محتويات المواد السامة في الهواء. في هـذه الحـال يجب اشتراك وبشكل واسع رأي حفظ الوسط المحيط والعاملين في ذلك المجال وكذلك القائمين على إنتاج تجهيزات الصناعة، وكذلك طرق تنقية الملوثات الصناعية، كل ذلـك يساعد على الاختصار في حجم انبعاث الملوثات في الهواء الجوي.
2. وضع خطة اقتصادية تحدد فيها قوانين تنظيم العقوبات (بـدأ مـن الماديـة وحتـى التوقيف) للمؤسسات الصناعية التي تتجاوز مستوى رمي المـواد الملوثـة في الهـواء الجـوي ولمراقبـة مـستوى تلـوث الهـواء يتطلـب القيـام أو إنـشاء نظـام مخـتص للمراقبة. ولكن يجب التأكيد عـلى فعاليـة هـذا الاتجـاه في تنظـيم كميـة ونوعيـة المواد الملوثة في الهواء الجوي. وأحياناً يحـصل مـن بعـض المؤسـسات أنهـا تعاقـب نتيجة المخلفات التي تطلقها في الهواء الجـوي ولكـن هـذه المخلفـات قـد تـسبب كوارث بحق الخطط المتعلقة بالغطـاء النبـاتي، بالإضـافة إلى ذلـك صـعوبة تحديـد قيمة ومقياس هذه الخسائر...
3. اسـتخدام معطيـات عـن مجمـوع المـواد الملوثـة المنبعثـة في إعـداد خطـط لحفظ وتنقية الهواء، وفي الجهة الأكثر فعالية لتنظيم نوعية الهواء. فإن مثـل هـذه المخارج الهادفـة أو التـي تـؤدي لحـل مـشاكل تـأثير التلـوث عـلى الغطـاء النبـاتي

والنظم البيئية قد تطورت في السنوات الأخيرة وفعالية استخدامها عند إعداد موقف جدي يهدف إلى تسوية حالة الهواء الجوي. يتواجد في الهواء الجوي مكونات سامة تتحرك مع دورة كتلة الهواء وعلى مساحات شاسعة وهي قادرة على أن تسبب تأثيراً ضاراً على النباتات في مناطق تواجدها ومناطق شاسعة وبعيدة عن مصدر التلوث. وهكذا فإن عمليات التنقية الذاتية للهواء تحدث ببطءٍ شديد، ولخفض فعالية تأثير تلوث الهواء على النبات فإن المخاليط السامة المنطلقة في الهواء من الضروري إبعادها قبل دخولها الهواء وبشكل مباشر من مصدر التلوث. ولتحديد معايير المجال المسموح للتركيز في الهواء من حيث المكونات السامة فمن الضروري توسيع معرفتنا عن المستوى الحرج لهذه المواد في الهواء، عند ملاحظة أضرار مختلفة للأنواع النباتية (مثل النباتات البرية، المستئنسة). ولتحديد مفهوم أساسي في حفظ الهواء الجوي نظيفاً يتطلب وضع حلول للمشاكل التي تؤثر على صحة الإنسان والنبات معاً، وإن مستوى التطور الصناعي، المسائل الاقتصادية لها علاقة بالكوارث التي تنصب على الغطاء النباتي من جراء تلوث الهواء، وإن حجم الأموال التي تضيع، والمستخدمة في الصناعة يجب أن توجه لخفض رمي المواد الملوثة السامة في الهواء الجوي.

4- تأثير المواد عالية التركيز على النبات

تؤثر المكونات السامة على النباتات وتسبب لها أضراراً حادة ومزمنة. الأضرار الحادة للنباتات تعتبر نتيجة التركيز العالي لمختلف الغازات من المواد الملوثة خلال فترة زمنية قصيرة. تدخل الغازات السامة خلايا النبات وتؤدي إلى تحطيم العمليات الفيزيولوجية والبيوكيميائية، التي تحدث داخل الخلايا. وإن تراكم كمية ملحوظة من المواد السامة في النبات تؤدي إلى أضرارٍ للأوراق، تسبب لها اختفاء اللون وكذلك موت النبات. الأضرار المزمنة للنبات تلاحظ عند التأثير

المنخفض لتركيز الغازات المختلفة للمحتويات الملوثة وخلال فترة طويلة. وعند هذا التأثير يلاحظ تباطؤ في النمو والتطور عند النبات، انخفاض المحصول. تظهر حـروق وهـي أضرار على مختلف أعضاء النبات.

أ- ثاني أكسيد الكبريت

في الوقت الحاضر فإن تحديد حجم الخسائر التي تـسببها تلـوث so_2 عـلى النبـات (انخفاض الكتلة الخضراء، انخفاض منتجات النباتات البرية والمرباة أو المستئنـسة)، فهـي مسألة صعبة، ولكن حلها ممكن فقط من خلال مجالات ضيقة.

وإن تحديد المستوى الحرج لتركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي يمكـن مـن خلال تحليل المعلومات عـن تـأثير هـذا المركـب عـلى prinus sylvestris وpicea abies. حيث وضح أن زراعة الصنوبر في ألمانيا يمكـن فقـط في حالـة إذا كـان تركيـز ثـاني أكـسيد الكبريت في الهواء وخلال فترة أو مرحلة التطور السنوي لا تزيد عن 80ملـغ/ م^3. وعنـدما تكون محتويات ثاني أكسيد الكبريت في الهواء بين 100- 250 ملغ/ م^3 فإن عدد ليس كبـير من أشجار الصنوبر ينتقل إلى نضج البـذور. وعنـد تركيـز ثـاني أكـسيد الكبريـت في الهـواء يساوي 70 ملغ/ م^3 فإن حجم الخشب المتشكل ينخفض إلى 40%، وعند تركيـز 180ملـغ/ م^3 يصل الانخفاض إلى 80%. أمـا أشـجار الـشوح والتـي تعتـبر أكـثر حـساسية لتـأثير ثـاني أكسيد الكبريت بالمقارنة مع غابات الصنوبر، حيث النمو يتباطؤ عند تركيـز لثـاني أكـسيد الكبريت 25- 35 ملغ/ م^3، وعند تركيز 30- 40 ملغ/ م^3 فإن إنتاجية الأشـجار يـنخفض إلى 50% وقد لوحظ موت بعض أشجار الشوح. وإن تركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهـواء 70- 90 ملغ/ م^3 يؤدي إلى موت جماعي لأشجار الشوح.

ب- مركبات الفلور

تعتبر الأشجار دائمة الخضرة حساسة التأثير الضار لمركبات الفلور. وإن تأثير فلوريد الهيدروجين تركيز 1,3 ملغ/ م^3 على Albies nordmaniana وLarix japonica خلال 408 ساعة يسبب اختفاء اللون لدى الأوراق الإبرية وبشكل مستمر. وخلال 240 ساعة من تعرض picea abies وpinus strobes قد لوحظ اختفاء اللون عند نهاية الأوراق الإبرية. وإن تأثير فلوريد الهيدروجين عند التركيز السابق الذكر وخلال 1440 ساعة على Fagus sylvatica تسبب فقط اختفاء ضعيف للون عند الأورق. وقد ذكرت تواجد الفلوريدات في الهواء الجوي كمادة ملوثة القادرة على خفض حتى 50% من إنتاجية الأشجار وبنفس الوقت لا تلاحظ أية أعراض أخرى.

وفي بحث تضمن انتقاء الأشجار من حيث درجة تحمل تأثير الفلوريدات في Picea abies فقد ظهرت أعراض التأثير على الأوراق الإبرية وذلك عند تركيز محتويات الفلور في الهواء 0.025 ملغ/ م^3 وخلال 10 أيام.

عدا الأصول الشجرية دائمة الخضرة والتي تعتبر عالية الحساسية لتأثير محتويات الفلور فإن الأعشاب النجيلية والعلفية تسمح تواجد محتويات الفلور في الهواء (0.3 ملغ/ م^3)، فيمكن استخدام هذه النباتات في حل مسألة عزل النبات عن التأثير الحقيقي لتلوث الهواء وتعتبر النباتات النجيلية الزراعية أقل حساسية بالمقارنة مع الأنواع الأخرى كالأصول الشجرية السابقة الذكر وفي مقدورها ادخار الفلور خلال فترة النمو، ولكن بدون تردد فإن استخدام منتجات هذه النباتات المزروعة في الغذاء خطر كبير.

جـ- مؤكسدات الكيمياء الضوئية

إن الدول التي تتميز بطقس دافئ وبنفس الوقت متطورة بشكل جيد من حيث وسائط النقل الخاصة بالسيارات، لديها تأثير سلبي على الوسط المحيط من خلال الأزون، أكاسيد أزوتية وغيرها. وإن الأشجار دائمة الخضرة تتميز بأنها عالية الحساسية لتأثير هذه المواد. فمثلاً غراس pinus strobes تتضرر خلال 4 ساعات لتأثير الأزون في تركيز 70 في المليار. مع العلم أن الأشجار عريضة الأوراق تتميز بدرجة تحمل أكثر لتأثير الأزون مما هو عليه لدى الأشجار دائمة الخضرة.

إن المستوى أو التركيز الحرج للأزون في الهواء الجوي لمختلف الأنواع النباتية ودرجة التضرر متغير بشكل واسع. فالأنواع النباتية الحساسة تكون الجرعات الحرجة للأزون 0.05- 0.1 مليون خلال 2- 4 ساعات. وإن المحتويات الحرجة للأزون في الهواء الجوي والذي عندها لوحظ أضرار على الذرة Zea mays والشوفان Satuva Avena وهي متغيرة ضمن مجال 0.1- 0.12 مليون$^{-1}$ وخلال فترة زمنية ساعتين. وقد لوحظت أضرار أشد على أوراق الدخان (التبغ) Nicotiana tabacum عند تركيزه 0.05مليون$^{-1}$ في الهواء وخلال 4 ساعات.

د- بيروكسيد استيلين نترات

تضرر النباتات نتيجة تواجد بروكسيد استيلين نترات في الهواء الجوي عندما يكون تركيزه أقل من التركيز الضار للأزون. وإن المستوى الحرج لتركيز BAN في الهواء الجوي أحدث أضرار على النباتات الحساسة حوالي (49- 99 ملغ/ م^3) وخلال فترة تأثير 4 ساعات.

5- التأثير المشترك لبعض المواد الملوثة على النبات

إن معايير نوعية الهواء لدى مختلف الدول يحدده المجال المسموح لتركيز معين في الهواء لأكثرية أولوية غازات المواد الملوثة. ولكن لمناطق صناعية كبيرة فإن التأثير الحقيقي على النبات يكون بشكل غير منفصل لمادة ملوثة ولكن لمخلوط ومواد ملوثة ثانوية. تتشكل من خلال التفاعلات الكيميائية، المنصبة في الهواء الجوي مع اشتراكها بالمواد الملوثة الأولية، المنبعثة من المؤسسات الصناعية ووسائط النقل. لذلك فإن إمكانية تقدير فعالية تأثير تلوث الهواء على النبات في هذه المناطق، ودرجة خطورتها تتأثر بذلك. ولتحديد معايير نوعية الهواء فمن الضروري البحث في مجال دراسة التأثير المشترك لمختلف المواد الملوثة على النبات وبشكل منفصل على الأعضاء. إلى الوقت الحاضر فإن شواهد تتناول المسألة قليل جداً. إن فعالية تأثير مخلوط غازات على حالة النبات ممكن أن يكون إضافي، تزيد أو قد تقلل من مجموع فعالية تأثير كل مادة، في مكونات المخلوط الغازي. فمثلاً عند التأثير المشترك على النبات للأزون وثاني أكسيد الكبريت في علاقة تركيز 5:1 حيث في الأساس يلاحظ أعراض الضرر على النبات، حيث أن خواص تأثير الأزون تفوق، وعند علاقة تركيز ثاني أكسيد الكبريت والأزون 1:6 يلاحظ أعراض الضرر للغازين معاً، ولكن في حال كانت العلاقة 1:4 فإن درجة تضرر النبات بالأزون تزداد من حساب تأثير ثاني أكسيد الكبريت.

أ- ثاني أكسيد الكبريت والأزون

هناك عددٌ ملحوظٌ عن إمكانية فعالية التأثير المشترك على النبات الأزون وثاني أكسيد الكبريت، والذي ممكن أن يكون ذو فعالية إضافية، بتقليل أو زيادة مجموعة الفعالية. تضرر نبات الفصفصة – Sativa Medicago؛ القرنبيط – B.oleracea var. capitata؛ الملفوف – Brassica Oleracea؛ البندورة

Lycopersicum esculentum؛ التبغ Nicotiana tabacum فعند تأثير مخلوط من الأزون وثاني أكسيد الكبريت في الهواء بعلاقة وعلى التوالي 0,5:0,05 ؛ 0,1:0,01 ؛ 0,15:0,1 ؛ 0,5:0,1 فيمكن أن يكون إضافي في زيادة أو تقليل من نتيجة جمع التأثير كل من هذه المواد الملوثة، بعلاقة مع التركيز وأن نتيجة دراسة التأثير المشترك لثاني أكسيد الكبريت والأزون على الأوراق الإبرية pinus sylvestris وp strobes تبين أن فعالية تضرر الأوراق الإبرية لهذين النوعين من الأشجار زيادة إضافية.

ب- ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الأزوت

يدخل وفي وقت واحد كل من ثاني أكسيد الأزون وثاني أكسيد الكبريت في مكونات كثير من مخلفات الصناعة التي ترمى في الهواء الجوي. وإن صفات تضرر النبات يشترط بتأثير مشترك لهذين الغازين، بصورة مشابهة للفعالية تأثير الأزون. وإن أكثر وضوحاً لهذا التشابه يظهر في ظروف تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الأزون في الهواء قريباً من المستوى الحرج. وإن دراسة تأثير المركبات المذكورة على النبات تظهر عند الظروف المسيطر عليها، تسمح اعتبار أن جمع الفعالية الضارة تأخذ في الزيادة الإضافية للأنواع النباتية التالية: الشوفان A vena sativa التبغ Nicotiana tabacum؛ الفاصولياء phaseolus vulgaris rultivah؛ الحور populus tremuloides. ولكن في الظروف الطبيعية فإن التأثير المشترك لهذه الغازات يعتبران إضافية.

جـ- ثاني أكسيد الكبريت وفلوريد الهيدروجين

إن خليط هذه الغازات بكثرة يشاهد في مخلفات الصناعة، ويعتبر قوي التأثير الضار على النباتات. ولكن مواصفات الكمية الخطرة التأثير لثاني أكسيد الكبريت وفلوريد الهيدروجين على النباتات غير كافية، ولكن خليط هذه الغازات خطر

جداً على النشاط اليومي لكثير من النباتات. ولكن فقد علم أن فعالية التأثير المشترك على الذرة – Zea mays والشعير – Hordeum Vulhare يؤدي إلى زيادة إضافية في التأثير. وإن التأثير يكون خلال فترة 27 يوم من جراء تركيز المخلوط الغازين 0,6- 80مليار.

د- الأمطار الحامضية أو الهطول الحامضي

تتشكل مركبات كيميائية في الهواء الجوي نتيجة التأثير المتبادل للمواد الملوثة فيما بينها، وحجمها في تزايد، وينتمي لهذه المواد ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الأزون، يؤدي إلى تغير ph الهواء وينعكس على المحتوى الكيميائي للهطول، جزيئات المعادن والغبار المتواجدة في المخلفات الصناعية التي ترقى في الهواء الجوي لها دور كبير ومؤثر في تحديد المحتوى الكيميائي للهطول، جزيئات المعادن والغبار المتواجدة في المخلفات الصناعة التي ترمى في الهواء الجوي لها دور كبير ومؤثر في تحديد المحتوى الكيميائي للهطول.

وإن تأثير تلوث الهطول الجوي على النبات يؤدي إلى أضرار ثانوية. وأكثر وضوحاً للفعالية الحقيقية لتأثير الهطول يشاهد على الأشنيات والغطاء النباتي بوجه عام. وفي نتيجة تأثير الهطول الحامضي ممكن أن يغير PH الأحواض المائية، الأنهر والترب، وهذا يؤدي إلى إظهار مشاكل معقدة بعلاقة مع دراسة مفصلة لهذه العمليات وتتطلب خطوات لحفظ الغطاء النباتي. وإن تأثير الهطول الحامضي على الغطاء النباتي يلاحظ في الوقت الحاضر بشكل ملحوظ مشكلاً خسائر كبيرة تضر الأوراق الإبرية ممكن أن يؤدي إلى انخفاض في الارتفاع وقطر جذوع الأشجار، وكذلك حال ظروف غير مناسبة ممكن أن يسبب موت الأشجار. وإن تخفيض كمية مخاليط الغازات الخطرة في الهواء نتيجة المراقبة المستمرة من حيث حجم ومكونات الانبعاث من المصدر ممكن أن يؤمن ويخفض درجة الوسط الطبيعي.

6- الحدود المسموح بها لتركيز المواد الملوثة في الهواء

إن استخدام المعلومات الضرورية عن الحدود المسموح بها لتركيز المـواد الملوثـة في الهواء المحيط، تسمح لأكثر فعاليـة مـن حيـث حفـظ الغطـاء النبـاتي الزراعـي، البـساتين والغابات من تأثير ثـاني أكـسيد الكبريـت وفلوريـد الهيـدروجين، وأكاسـيد الأزوت ومـواد ملوثة أخرى.

وإن وضع الحد الأعظمي المسموح به لتركيز المـواد الملوثـة في الهـواء للنباتـات العـشبية أسهل مما هو عليه للأصول الشجرية، وأن الأكثر تعقيداً في هذا الصدد هي مشكلة إعداد الحـد المسموح به من حيث الحمولة للمواد الملوثة على النظم البيئية بشكل عام.

إن حجـم الأضرار لغابـات الـشوح في وسـط أوروبـا، مـشروط بتـأثير ثـاني أكـسيد الكبريت وفلوريد الهيدروجين، فهو السبب في الدراسة الموسعة لهذه المسألة التي قام بهـا اتحاد المنظمات الدولية لدراسة الغابات فكـان قـد أوصى حلـولاً بـضرورة خفـض انبعـاث المواد السابقة الذكر، وأكد على معيار نوعيـة الهـواء الجـوي. وإن تحديـد مـستوى تلـوث الهواء لفلوريد الهيدروجين حتى 0.3 ملغ/ م^3 (المتوسـط الـسنوي) فهـو قـادر في الحفـاظ على حالة غابات الشوح ومعالجتها في كثير من مناطق أوروبا.

أ- معالجة النبات كيميائياً

يوجد صعوبات ميكانيكية في علاقة مـع ضرورة تحقيـق خطـوات منتظمـة لتحديد تلوث الهواء، لتحقيق تطوير أبحاث موجه إلى خفـض حـساسية النباتـات المزروعة لأضرار التلوث مـن جـراء اسـتخدام ومـا يـستخدم لحمايـة النبـات. وإن أبحـاث طـرق حمايـة النبـات أدت إلى زيـادة حجـم ومحتـوى المكونـات الكيميائيـة المتواجدة في الوسط المحيط. عدا ذلك العمليات المتعلقة في معاملة النبات ممكن أن

تؤدي إلى ظروف غير مناسبة، بالمقارنة مع غير المعاملة. وإن اختبار التجارب في المعـاملات الكيميائية للنبات لا زالت غير كافية ولذلك في المستقبل فإن تطور هـذه الأعـمال ووضـع النتائج في المجال العملي يجب أن يكون بحذر شديد وفي مساحات محدودة.

وإن استخدام المواد الكيميائية لحمايـة النباتـات مـن تلـوث الهـواء لا يمكـن تغـير التأثير الموجه لخفض رمي المواد الملوثة من مصادر انبعاثها في الهـواء وأن تقليـل مـساحة النباتات المتضررة من المـواد الـسامة المتواجـدة في مخلفـات الـصناعة وبمـساعدة الطـرق الكيميائية في معاملة النباتات ممكـن أن تـؤدي إلى تـأثير حقيقـي بحالـة غيـاب إمكانيـة حماية النباتات أو عدم استخدام وتنفيذ أية خطوة تهدف لحماية النباتات.

فمثلاً تقوم المواد الكيميائية بحماية النبات من تأثير الهواء الملوث عند اسـتخدامها في ظروف الزراعة داخل البيـوت البلاسـتيكية أو الزجاجيـة وذلـك عنـد التركيـز المـنخفض للأزون والمؤكسدات الكيمياء الـضوئية في الهـواء فيتطلـب اسـتخدام مـصافي، ولكـن عنـد تعطل تلك المصافي لـلـهواء فمن الضروري خلال ذلك الفترة الحماية بالمواد الكيميائية.

ب- استخدام الأسمدة

فعالية استخدام الأسمدة لتخفيض حساسية النباتات لتـأثير المـواد الملوثـة يتوقـف على عدة عوامل منها وراثية وأخرى مناخية. والأنواع السريعة النمو مـن أشـجار، نباتـات اقتصادية أو برية، وإن الخضروات لدرجة كبيرة تتعرض لتـأثير ثـاني أكـسيد الكبريـت مـن النباتات التي يحدث تطور لها أكثر بطئا. وإن زيادة محتوى التربة مـن الأزون قـادر عـلى زيادة تحمل النبات لتأثير الهواء الملوث. إضافة الأسمدة للتربة المحتوية الأزون، الفوسفور والكالسيوم، تنخفض الحساسية لتأثير ثاني أكسيد الكبريت لكل من الأنواع.

Populus ; Aesculus hippocas tanum ; tilia cordata

.Pyramida lis. وإن دراسة تحمل غراس pinus sylvestyis لتأثير ثاني أكسيد الكبريت في ظروف التواجد العادي للصوديوم، الفوسفور، البوتاسيوم، والمغنيسيوم وندرة أو نقص هذه العناصر في التربة يساعد على زيادة مقاومة النبات عند إضافة الأسمدة للتربة.

إن الأسمدة في التربة تجعل ظروفاً ملائمة لنموه تزيد من سرعته لدى picea abies، وتساعد على خفض ضياع الكتلة البيولوجية الحية في ظروف تأثير الهواء الملوث (مثلاً ثاني أكسيد الكبريت) في المناطق الصناعية.

وإن إضافة الأسمدة للتربة في الخريف يساعد على زيادة المقاومة لدى غرس Pinus strobus لتأثير الأزون.

تواجد الأزون في التربة له تأثير قوي على حساسية النباتات لتأثير الهواء الملوث. وإن تحمل النباتات Triticum aestivale؛ . Helianthus ; Brassica mapus var oleifera Annuus لتأثير ثاني أكسيد الكبريت للأنواع المذكورة سابقاً على ترب مختلفة الأنواع يتوقف على محتويات الأزون في ذلك التراب.

إن إضافة الأسمدة للترب الكلسية في المناطق التي يكون الهواء الجوي ملوث في الأساس ثاني أكسيد الكبريت، ترفع PH التربة وتجعل الظروف ملائمة لتطور النباتات. وحيث تواجد الكلس في الترب قادر على تخفيض حساسية النباتات لتأثير مركبات الفلور. وعند نقص الكلس يزداد تضرر أوراق نبات البندورة بمركب فلوريد الهيدروجين، وحيث يؤدي أيضاً إلى إنقاص حجم ثمار أشجار الفاكهة، ويبطئ تطورها.

زيادة محتويات الكالسيوم في التربة (50- 400 ملغ من كربونات الكالسيوم إلى 100غ تربة) يضعف تضرر الشعير Hordeum vulgare

عند تأثير فلوريد الهيدروجين في تركيز 12.3ملغ/ م خلال 192 ساعة.

وعند تواجد محتويات الأزون في التربة فإنها تعمل على زيادة أو خفض درجة تأثير الأزون على نبات الفجل Raphanus Sativus تنخفض المادة الجافة (عند حرارة الوسط الهوائي 20- 30م). يشابه تأثير الأزون عند ارتفاع أو انخفاض مستوى محتويات الفوسفور في التربة في ظروف الحرارة المنخفضة. إن حالة تطور هذه المشكلة في غالب الأحيان مقبولة، وذلك لعدم توفر نتائج أبحاث تؤدي في النهاية إلى استنتاج كافٍ ومرضٍ. إن فعالية تأثير مكونات مختلف المعادن في التربة على تحمل النبات من تأثير تلوث الهواء في طبيعته ممكن أن يكون أساسي أو ثانوي.

جـ- المركبات الكيميائية، استخدامها لحماية النبات

يستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية لخفض حجم تضرر النباتات من جراء تلوث الهواء وذلك بمعاملة النباتات بمركبات كيميائية مختلفة. وذلك للصعوبات الملحوظة المتعلقة بمراقبة محتويات المواد الملوثة التي تنطلق من مصادر التلوث، وإن الطريقة البسيطة لخفض التضرر الخطر للنباتات من جراء تلوث الهواء تعتبر استخدام المواد الكيميائية لحماية النباتات. وإن آلية تأثير المواد الكيميائية المستخدمة أو التي تستخدم لحماية النباتات أو لإنقاص درجة الضرر فهي مختلفة. وذلك باستخدام مواد تؤدي إلى خفض درجة تضرر النباتات وذلك نتيجة التأثير المتبادل بين المركبات مع مؤكسدات الأزون على سطح أوراق النبات. وللمحافظة من تضرر النبات فإن المادة لها القدرة على خفض حساسية النبات لتأثير المواد الملوثة.

وإن رش النبات بالماء الحامل معه سيليكات كالسيوم أو صوديوم، وممزوج مع الماء طحال أبيض (كاولين)، حيث أكاسيد الحديد قادرة على تحطيم جزيئات الأزون المتواجدة على سطح الأوراق. وإن آلية استخدام المكونات الكيميائية لحماية النباتات من التأثير المتبادل مع أكاسيد الكبريت أو المواد الغازية المختلفة يؤدي إلى تشكيل أملاح ضعيفة الانحلال. ولخفض التأثير الحقيقي لأكاسيد الأزوت، ثاني أكسيد الكبريت، النشادر والمركبات الغازية المختلفة الأشكال على وضع الأشجار دائمة الخضرة وغابات أشجار الشوح فيمكن استخدام طريقة الرش بمحلول مائي يحتوي على الزئبق، الفضة، ثريوم (عنصر مشع)، كادميوم أو كوبلت، ثاني كرومات البوتاسيوم أو خامس أكسيد الفاناديوم. وإن تركيز المحلول المستخدم يمكن أن يتغير من 0.1- 0.3غ/ ليتر.

تحمل ومقاومة النبات

إن ثلث إمكانية خفض درجة تضرر النبات من جراء تأثير الهواء الملوث يرجع إلى ظاهرة التحمل الوراثي أو المقاومة المعتدلة للأنواع سواء كان نباتاً اقتصادياً، بساتين أو نباتات حراجية. فمن المفروض وعند انتقاء الأنواع الشجرية يجب النظر إلى المعلومات التي تظهر تركيز المواد الملوثة باعتبارها المواد السامة لمختلف النباتات.

وإن هذه المعلومات تحدد إمكانية صحيحة في انتقاء وانتخاب نباتات وظروف زراعتها في وسط الهواء الملوث أي المناطق الملوثة وعند انتقاء أنواع نباتية جديدة متحملة لتأثير تلوث الهواء أحياناً فإن التوجيه غير الصحيح من قبل الجهات الرسمية المتخصصة في مسألة التخطيط والتنظيم الصناعي تعتبر أن خفض مستوى تلوث الهواء مشكلة غير ذات أهمية، وفي هذه الحالة وبسرعة حل مثل

هذه المشكلة وتحليلها وإيجاد الحلول المناسبة لهذه المسألة المتعلقة بحالة النبات والتـي تنحصر بحساسية تأثير المواد الملوثة المتواجدة في الهواء الجوي.

إن الأنواع المحتملة وراثياً يجب النظر إليهـا كخطـوة مؤقتـة، حيـث أن حـل مثـل هذه المشاكل يجب أن تصب في تنظيم درجة تأثير تلوث الهواء على النبات.

هناك شواهد مختلفة لحساسية تأثير تلوث الهواء ضمن النوع الواحد أو الأصل الواحد.

وإن دراسة تغـير المقاومـة لهـا صـفة اقتـصادية مهمـة للأنـواع النباتيـة، حيـث أن الاختلاف داخل النوع الواحد يؤكد حقيقة الأصول الـشجرية مثـل Picea abies ; pinus strobus فإنها تملك إمكانية تغير عوامل تحمل النبات لتأثير الأزون، ثاني أكسيد الكبريت، فلوريد الهيدروجين.

الحساسية النسبية للنباتات من تلوث الهواء

م – المتحملة؛ ح – الحساسة؛ ط – متوسط الحساسية

الأنواع النباتية	SO_2	O_3	F	Nox
الأشجار دائمة الخضرة				
A bies alba	ح	م	ح	ط
A bies balsamea	ط	م	ح	م
A bies concolor	م	م	ح	-
Chamaecyparis lawsoniana	م	-	-	ط
Luniperus communis	م	-	م	-
Luniperus occidentalis	م	م	-	-
Larix decidua	-	ط	ط	ح

Larix leptolepis	م	ط	م	ح
Picea glauca	ط	-	ح	م
Picea engelmannii	ط	-	ط	-
Picea omorica	ط	-	ح	-
Picea pungens	م	-	ح	ط
Pinus contorta	ط	ط	ح	-
Pinus nigra	ط	ح	ح	م
Pinus ponderosa	ط	ط	م	-
Pseudotsuga menziesii	ط	م	م	-

الأنواع النباتية	SO_2	O_3	F	Nox
الأشجار دائمة الخضرة				
Seguoia gig antea	ط	-	-	-
Seguoia sempervirens	م	-	-	-
Taxus baccata	م	-	-	ح
Taxus cuspidata	-	-	م	ط
Thuja plicata	م	-	-	-
Tsuga heterophulla	ط	-	م	-
Tsuga Canadensis	-	م	م	-

الأشجار والشجيرات عريضة الأوراق	ح	م	ح	ط
Acer campestre	ط	م	ح	م
Acer platanoides	م	م	ح	-
Acer rubrum	م	-	-	ط
Acer saccharinum	م	م	-	-
Aesculus hippocastanum	ط	ط	-	-
Alnus glutinosa	ط	-	م	ح
Betula pendula	ط	ط	م	م
Carpinus betulus	م	-	ط	-
Crataegus douglassii	م	-	-	-
Crataegus oxyacantha	-	م	-	

الأنواع النباتية	SO_2	O_3	F	Nox
Fagus sylvatica	ط	م	ط	م
Fraxinus excelsior	ط	م	ط	-
Ligustrum vulgare	م	-	م	-
Nissa sylvatica	م	-	م	-
Platanus acerifolia	م	-	م	-
Populus alba	م	-	م	-

Pop ulus deltoides	م	-	-	-
Populus tremula	م	ط	م	-
Prunus mahaleb	م	-	م	-
Quercus petraea	م	-	ط	-
Quercus robur	م	م	م	م
Quercus rubra	م	م	م	-
Robinia pseudoacacia	م	م	م	م
Sambucus nigra	م	-	م	م
Salix alba	م	-	م	-
Sorbus aucuparia	م	م	م	-
Sophora japonica	م	-	-	-
Spiraea vanhouttiei	ط	-	ط	-
Syringa vulgaris	ط	ط	ط	-
Tilia amercana	-	م	م	-
Ailia cordata	م	م	م	م

الأنواع النباتية	SO_2	O_3	F	Nox
الخضراوات وأشجار الفاكهة				
Allium cepa	م	ح	-	م
Apium graveolens	م	-	م	ط
Asparagus officinalis	-	-	م	م
Beta vulgaris	ح	م	-	-
Brassica oleracea cv .				
Gongyloides	ح	-	-	م
Capitata	م	ط	م	م
Brassica rapa	ح	ط	-	-
Cucumis sativus	ح	ط	م	-
Lycopersicum esculentum	ح	ح	ط	ط
Phaseolus vulgaris copta pinta	ط	-	-	ح
Pisum sativum	ح	ط	م	ح
Spinacia oleracea	ح	ح	م	-
Citrus paradisi	-	-	ط	-
Citrus sinensis	-	-	ط	ط
Eragaria sp	-	م	ط	-
Malus sylvestris	ح	-	ط	ح
Prunus armeniaca	-	م	ح	-
Prunus avium	-	-	ط	-
Prunus persica	-	-	ح	-

المراجع العربية المستعملة

1. إبراهيم محمد عبد المجيد – الملوثات الكيميائية والبيئية – القاهرة – 1996.
2. أرناووط محمد – الإنسان وتلوث البيئة – الطبعة الثانية – مصر – 1996.
3. نحال إبراهيم – أساسيات علم الحراج الطبعة الرابعة – سوريا حلب – 1981.
4. نحال إبراهيم؛ أديب رحمة – الحراج المشاتل الحراجية – سوريا حلب – 1996.
5. رشيد أحمد – علم البيئة – بيروت – 1981.
6. عبد الجواد أحمد عبد الوهاب – بيئة الوطن العربي – مصر – القاهرة – 1997.
7. عبد السلام علي زين العابدين – تلوث البيئة مصر – القاهرة – 1992.

المراجع الأجنبية المستعملة

1. Armentano. J. V. (1980). The role of temperatezone forests in The global carbon cycle. Can. j. j. or. Res, 10, 53.
2. Aylor. D. E. (1975). Deposition of particles of ragweed pollen in a plant canopy. j. Appl. Meteorol. 14, 52.
3. Bennett. j. H. (1975). Interactions of air pollutants With canopies of vegetation pp. 723in Responses of ptants to Air pollution, Academic press. New York-San Francisco-London: xii+388.
4. Bele. j. (1979). CSVTS Hydrologicko problematika pri uprauach Toku, Karlovy Vary, 22pp. 99.
5. Bialobok.s. (1980). Identification of resistant or totems strains and artificial selection or produ-ction of such stins in order to protect vegeta-tion from air pollution. Pp. 253 in papers presented to the symposium on the Effects of Airborne pollution on Vegetation, Warsaw, Poland. UN Econ. Comm. Europe: xx+410 pp.
6. Bowen. H.J.M. (1977). Natural cycles of the eleme-nts and Their perturbation by man. pp. 1-37in The chemical Environment: Environment and man (Ed. j. lenihaan) Blackie, Glasgow, Scotland, UK: vol. 6, 163.
7. Cowling. E. B. (1980). Effects afacic precipitation on health and productivity of torests PP. 165-75 in proc. symp. Effects of Air pollutants on mediterra-nean and temperate forest Ecosystems, USDA FOR serv., Berkeley California, USA: 256 pp.
8. Dochinger. L. S. (1980). Interception of airborne parti-cles by tree planting. J. Environ. Qual., 9, pp.255.
9. Edmonds, G.F (1982). Effects of air pollutants on insect populations. Annud Review of Entomology,27.
10. Eaton. T.E (1997). Hatural and artificially altered potterns of salt spray across a forested is land. Atmos. Environ, 13, pp.705.
11. Evans. D. W, Wiener. J.C (1980). Trace element inputs from a coalburning power plant to adjacent terres tral and aguatic environments. 3. Air pollut.contr. Assoc, 30, pp. 567-73.

12. Fang. S.C. (1978). Sorption and transformation of mercurya vapor by dry soil Environ. Sci.teehnot., 12, pp. 285-8.
13. Freedman. B.S. (1980). Effects of smelter pollutants on forest leaf liter decomposition near a nickel-copper smelter at Sudbury, Ontario can. J. Bot, 58, pp. 1722-36.
14. Gudeerian. R-Kuppers. K. (1979). Problems in determining dose-responsrelations hips as a basis for ambient pollutant standards. paper presented to The symposium on The Effects of Airborne pollution on vegetatian. Wasaw, Poland, united Nations Economic commission for Europe: 15pp. (mimeogr).
15. Hadjouz. A. N. 1992- Journal al The Academy of Science, N4-5; 92- Different conditions fruitfully particularities platycladus Oriental's in city of Tashkent.
16. Hadjouz. A. N- 1992; Biological charaltaristics of platycladus Orientalis and Their use in The vegetation of city Tashkent.
17. Hartogensis. F. (1980). Criteria for establishing legislation, regulations, and planning guidelines concirnig ambient concentrations of airborne pollutants which meet the need to protect vegetation. Pp.361-7in papers presentent to the symposium on the Effects of Airborne pollution on vegetation, warsaw, poland. UN Ecan. Comm. Europe:xx+41opp.
18. Hammond. A. L. (1975). Ozone dectruction: problems scope grows,its urgency recedes-science-178, N4182-p. 1181.
19. Hangebrauck. K.P. (1968). Status report on controlling the oxides of 5ulphur-J. AirPOllut. Cantr2. ASSOC, 18, N1, P.5.
20. Hanst. P.L. (1997). Mechanism of peroxyacetyl nitrate formation- J. Air pollut cantr. Assoc. 21N5. P.269.
21. HARRIS.D.H. (1968). Another look at New Jock Citys air polluton problem- J. Air pollut. Contr.. Assoc. 18N6. P.406.
22. Heickel. G.H. (1976). Roadside Caini ferrous windbreaks as sinks for vehicular lead emissions. J. Air pollute. Control Assoc, 26, pp.767-70.

23. Heinrichs. H. (1977). distribution and cycling of major and Trce elements in two central European forest ecosystems. j. Environ. Quail. 6. pp.402-7.
24. HICKS. D. R. (1978). Diagnosing vegetation Injury caused by air pollution Environmental protection Agency, Washington, DC, USA: 182 PP.
25. Hook. R. I. Van, Harris. W. F (1977). Cadmium, lead and Zinc distributions and cycling in a mixed deciduous forest. Ambio, 6.
26. Huttunen, s(1980). The integrative effects of airborne pollutants on boreal forest ecosystems. pp.111-34 in Effects of Airborne pollution on vegetation, UN Euon. Comm. Europe. Warsaw, Poland.
27. Inman. R. E. (1971) note on The uptake of carbon monoxide in atmosphere-proc. Second Int. clean Air congr. New-York-London, P.336.
28. Ingersoll. R. B. (1974). Soils potential as a sink for atmospheric carbon monoxide Tellus, 26, PP.151-8.
29. IUFRO (1978). Resolution ueber maximale Immissionswerte Zum schutze de walder. organization der IUFRD- Fachtagung, vol.18, pp.1-2.
30. Jeffree. C. E. (1980) plant damage caused byso_2. pp. 328-54 in papers presented to The symposium on The Effect of Airborne pollution on vegetaltion, waraw Poland. UN. Econ. Comm. Europe: xx+410 pp.
31. Johnsson. B (1976). Soil acidification by atmospheric pollution and forest growth. Pp.837-45 in pnoc. 1st Int. symp. Acid precipitation and The Forest Ecosystems USDA Forest service.
32. Kabel. R.L. (1976). Natural removal of gaseous pollutent. Pp.26 in symposium on Atmospheric Trbulence, Diffusion and Air Quality.
33. Katzmom. H. (1975). Hydrocarbon emissions from jet engines operated at simulated high-altitede supersonic flight conditions-Atmos. Environ. N9. P.839.

34. Kickert. R. N. (1980). Ecosystem simulation madeling of mixed conifer forest under photochemical air pollution. Pp.3-28 in photochemical oxidant Air pollution Effects on a mixed conifer forest Ecosystem: Final Report us EPA, Corvallis, Dragon 97330, USA: xvi+196 pp.
35. Knade. W. (1980). Capacity and efficiency of vegetation in reducing air-borne pollution in urban industrial areas. pp.278 in papers presented to The symposium on The Effects of airborne pollution vegetation, Warsaw, Poland.
36. Krause. G. H. (1977). Plant response to heavy-metals and sulphus dioxide. Environ. Pollute, 12, pp.63. 71.
37. Liamoreaiux. R. j. (1978). Photosynthesis and transpiration of excised silver maple leaves exposed to cadmium and sulphur dioxide Environ. Pollut. 17. Pp.259.
38. Likens. G. E. (1977). Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springier-verlag, New York, Ny, USA, 146. Pp.
39. Legge. A. H. (1980). Primary productivity sulfur dioxid, and The forest ecosystem: an overview of a case-study. Pp.51-62 in proc. Symp. Effects of Air pollutants on medi-terranean and Temperate Forest Ecosystems, USDA For. Serv, Berkeley, California, USA: 256 pp.
40. Materna. J. (1980). [Sorptiem of sulfur dioxide by forest St humus-in czech]. Prace Vulhm, 56, pp.111.
41. McBride. M. B. (1978). Transition metal banding in humic acid: An ESR study. Soil sci, 126, pp.200.
42. Ottar. B. (1980). Air pollution a survey of sources and dic persion made ling pp.65-75- in papers presented to The symposium on The Effect of Airborne pollution in vegeta-tion, Warsaw, Poland. UN Econ. Comm. Europe.
43. Ormrod. D. P. (1978). Pollution in Horticulture. Elsevier, Amsterdam, The neTherla+260 pp. Iffustr Netherlands: xi+260 pp; llustr.
44. Preer. J. R. (1980). Factors affecting heavy-metal content of garden vegetables. Environ. Pollut. (Ser. B.), 1, pp.95.

45. Purves. D. (1977). Trace Element contamination of The Environment Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: xi+ 260 pp.
46. Rogaini. R. C. (1977). Environmental Trace-metal cantmination in Kellogg, Idaho, nein a lead-smelting complex. Environ. SCI. Technol, 11, pp.773.
47. Rogers. H. H. (1979). Measuring air pollutant uptake by plants: Nitrogen dioxide. J. Environ. Qual, 8, 551.
48. Russo. F. (1979). Phytotoxicity and distribution of cadmium in pin oak seedlings determined by mode of entry. Forest SCI, 25, pp.328.
49. Raven , Berg- 1997; Environment second edition- 459.
50. Smith. L. (1980). The acidity problem- its nature, causes, and possible solution pp.136 in proc. Symp. Effects of Air pollutants on Mediterranean and Temperate Forest Ecosystems. USDA For. Serv, Berkeley, California, USA: 256 pp.
51. Smith. W. H. (1978). Trace-metal pollutants and urban- Tree leaf pathogen. Trans. Br. Mycel. Soc. 70 pp.29-33.
52. Schotz. F. (1980). Genotypic and environmental variance in The response of nowag spruce families to Hf- fuminga tion. Pp.277 in papers presented to The symposium on The Effects of Airborne pollution on vegetation, Warsaw, Poland. UNE con. Caomm. Europe: xx+410 pp.
53. Treshow.. M. (1980). Pollumion effects on plant diatribetion Env:-ronmontal conservation 79, pp.279.
54. Treshow. M. (1988). Air pollution and plant life USA.
55. Ulrich. B. (1979). Depo sition van luftverunreinigungen and ihre Auswirkungen in walkdokosytemen imsalling. Sckriftenreih forest1. Fak. Univ. Gottingen, 58.
56. Wickliff. C. (1980) cadmium effects on the nitrogen fixation system of Alder. J. enviren. Qu19, pp.180.
57. Zinke. P. J. (1980). Influence of chranic air pollution on mineral Cycling in forests. Pp.88-109. In proc. Symp. Effects of Air pollutants on Mediterranean and Temperate Forest Ecosystems, us DA. For. Serv, Berkeley, California USA. Pp.256.

التلوث في البيئة الزراعية

لقد أصبح تلوث الوسط المحيط في يومنا الحالي أحد قضايا الساعة، بل أنه القضية الأهم، بعد أن أصبح قضية عالمية، ليس قضية محلية أو إقليمية، وأخذت آثاره المدمرة تظهر على الأحياء كافة، وأصبحت المطالبة بالهواء النقي والماء العذب والغذاء النظيف إحدى مسائل عصرنا إن التغير الذي طرأ على الوسط المحيط وتلوثه خلال القرن العشرين هو نتيجة التزايد في درجة أضراره ونوعيتها، والذي كان نتيجة طبيعية لزيادة كبيرة في عدد السكان، ونهمهم في استغلال الموارد الطبيعية في الزراعة والتعدين والصناعة.



عمان- شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 064619511 ص. ب 1061 عمان 11732 الأردن
E-mail:Abc.safi@yahoo.com/A.b.center@hotmial.com

